

第 24 回(令和 7 年度)技術報告会
北海道土木技術会 土質基礎研究委員会

土質基礎に関する「インフラ整備に貢献する
我が社の取り組み」技術報告会

報 告 集

令和 8 年 2 月

主催 北海道土木技術会 土質基礎研究委員会

目 次

セッション a

a-1 天然資源を損なうことなくインフラ整備に貢献する水平ドレーン材 －良質な砂を節約できた事例と今後の課題－	1
錦城護謨株式会社 大寺 正志、日下部 祐基、山内 義文	
a-2 管更生（ARIS ライナー工法）での安全対策と環境への配慮	5
岡三リビック株式会社 工藤 章光、伊東 作治郎、木村 壮一	
a-3 床版断面補修材 OJM を使用したジェットモルタル PF の施工事例	12
小野田ケミコ株式会社 西條 尚、保坂 仁哉、久我 比呂氏、大村 公一、齋藤 俊司	
a-4 積雪寒冷地に適した緑化植物に関する検証－苫小牧試験施工での事例－	16
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 佐藤 厚子、山木 正彦	

セッション b

b-1 社会基盤の強靭化に貢献するテラグリッド補強土工法 －安全性・施工性の優位性と実施工例－	26
岡三リビック株式会社 仁義 空心、木村 壮一 東京インキ株式会社 新目 陽平	
b-2 山留め式擁壁「親杭パネル壁工法」の適用事例について	36
日特建設株式会社 三浦 龍、池田 淳	
b-3 インフラ整備に貢献する新しい地盤改良工法 HCM工法（Hybrid Control Mixing Method）	41
三信建設工業株式会社 島野 崑 株式会社エヌ、アイ、ティ 中西 康晴	
b-4 インフラ構造物の軟弱地盤対策における固結工法	45
株式会社 不動テトラ 高田 大輝、菅 章悟、杉本 知弘	

天然資源を損なうことなくインフラ整備に貢献する水平ドレン材 —良質な砂を節約できた事例と今後の課題—

錦城護謨株式会社

同 上

大寺正志^{*1} 日下部祐基^{*2}

山内義文^{*1}

1. はじめに

軟弱な地盤に盛土や構造物等のインフラ構築物を建設する際、そのままの状態では地盤がそれらの重量を支えられず、すべり破壊を生じたり、時間の経過に伴う不同沈下が発生するなどしてインフラ構築物に深刻な損傷や機能障害が生じる可能性がある。そのため、対象となるインフラ構築物の種類に応じて軟弱地盤の置換・固化・締固め・排水等の地盤改良を行うことで対策が実施されている。このうち排水工法の一つである圧密促進工法では、軟弱地盤の圧密に伴い排出される間隙水を速やかに域外に排水するため、透水性の高い良質な砂を用いたサンドマット層を排水層として設ける必要がある。しかしながら天然資源である良質な砂の確保が困難になってきており、代替材料の確保が課題である。

本報告では、従来のサンドマット層の代替として水平ドレン材をプレファブリケイティッドバーチカルドレン(PVD)工法と組み合わせた圧密促進工法の概要及び適用事例、今後の技術的課題について述べる。

2. 水平ドレン材の概要

2.1 仕様

水平ドレン材(CB-5-150)の仕様を表-1に、断面図を図-1に示す。材質は、ポリオレフィン系樹脂で成型した芯体の両面に、フィルター材としてポリエステル系合成繊維を熱融着させた芯体とフィルターの一体構造となっており、一般的な PVD 材の約 2 倍の通水能力を有する。また、盛土荷重に対しても排水経路の確保が可能な圧縮強度を保持(盛土材の $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ として盛土高約 25m に相当)している。製品幅は 150mm から最大 600mm 幅まで対応しており、施工条件や用途に応じて選定が可能となっている。

表-1 材質・性状表 (CB-5-150)

項目	単位	内容
材質	芯体	—
	フィルター	ポリエステル系合成繊維
形状寸法	厚さ	5.5±0.7
	幅	150±3
圧縮強度	kN/m ²	500 以上
透水係数	フィルター	1.0×10^{-4} 以上
	面内	1.0×10^{-1} 以上

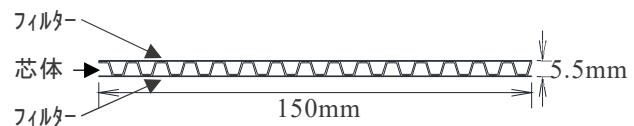


図-1 断面図

2.2 施工方法

水平ドレン材は 50m もしくは 100m のロール状となっており、PVD 材の打設終了後に人力で敷設する。

*1 ODERA Tadashi, YAMAUCHI Yoshifumi

大阪府八尾市跡部北の町 1-4-25 • TEL 072-992-6630 • FAX 072-922-4175

*2 KUSAKABE Yuko 札幌市中央区北 1 条西 15 丁目 1 番地 3 • TEL 011-631-2220 • FAX 011-631-1300

PVD 材と水平ドレン材の接続状況を図-2 に、接続概要図を図-3 に示す。接続方法は、地上に露出した PVD 材を水平ドレン材の上部または下部に重ね合わせて専用金具で接続する。1 本の水平ドレン材に接続する PVD 材の数は排水能力を勘案して決定する（3.2.1 参照）。その後、施工条件に応じて一般的なアンカーピンや土のう袋で固定する。また、水平ドレン材同士も専用金具やホッチキスで接続可能である。

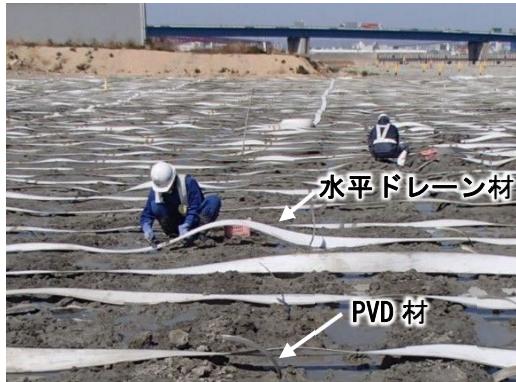


図-2 PVD 材と水平ドレン材の接続状況

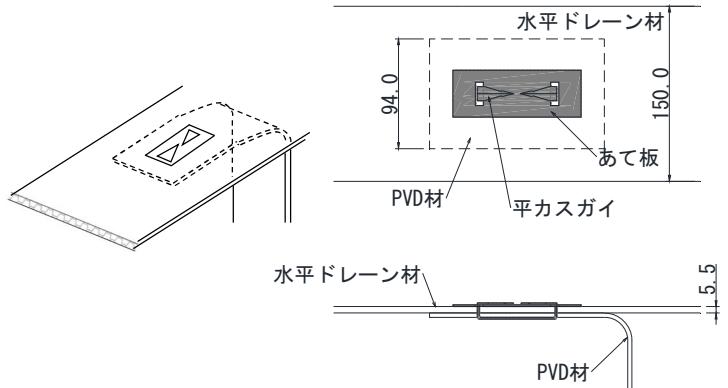


図-3 接続概要図

3. PVD 工法を適用した現場での水平ドレン材の適用事例

3.1 現場の概要及び設計条件

施工現場は九州地方の宅地造成工事であり、河川の後背湿地の水田跡に河道掘削工事に伴う発生土や残土を受け入れておよそ 10ha の敷地を造成している。造成による仕上げ高さは現況+1.1~1.6m である。

地質は、受け入れ残土による 0.6m 厚さの埋土(Bc)の下部に 2m 程度の砂層(As1)を挟んで N 値 1 程度の沖積粘土層(Ac1~Ac3)が約 11m 堆積している軟弱地盤である。地層構成を図-4 に地盤定数一覧を表-2 に示す。

GL(m)	Bc
-0.6	
	Bc
-2.6	As1
	Ac1
-8.0	
-10.5	Ac2
-13.4	Ac3
-14.7	As2
	Ds

図-4 地層構成図

表-2 地盤定数一覧						
地層	記号	層厚 (m)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期間隙比 e_0	圧縮指數 C_c	代表 c_v (cm ² /day)
埋土	Bc	0.6	16	3.41	1.14	100
沖積層	As1	2.0	17	—	—	—
	Ac1	5.4	14~14.5	2.58~3.08	1.14~1.46	40~70
	Ac2	2.5	14.5	2.82	1.05	40
	Ac3	2.9	17	1.53	0.56	150
	As2	1.3	17	—	—	—

現況高さ+1.1m~1.6m となる盛土($\gamma_t=19\text{ kN/m}^3$)と宅地荷重 14 kN/m^2 の荷重条件からの最大沈下量は 1.64m、及び放置期間 2 年で残留沈下量 10cm 以内という時間的な制約条件から、PWD 工法による地盤改良は Ac3 層下端までの約 14m（機械足場盛土 0.5m を含む）を打設長として正方形配置の 1.5m 間隔で打設した。

3.2 水平ドレン材の仕様選定

本現場では、圧密排水の為のサンドマット層となる良質な砂の確保が諸条件により困難であったことから、サンドマット層の代替として水平ドレン材が採用された。水平ドレン材の仕様選定は、地盤に打設した PVD 材からの圧密排水量と水平ドレン材の排水能力を定量的に比較することで検討する。PWD 材からの圧密排水量を水平ドレン材の排水能力で確保できれば適用が可能と判断できる。

3.2.1 PVD材からの圧密排水量と水平ドレン材の必要排水量

PVD材1本当たりの圧密排水量は、沈下量が大きい段階すなわち排水量が多い段階で検討する必要があり、圧密沈下検討結果より経過日数に対する沈下量が最も大きい期間について考えた。

PVD材1本当たりの必要排水量 q について嘉門ら¹⁾は、平均圧密度10%に達するまでの排水量として次式を提案している。

$$q = F_s \times S \times \frac{\pi}{4} d_e^2 / t$$

q : ドレンより排出される水量 (cm^3/d)
 F_s : 安全率 (2.0)
 S : 時間 t における圧密沈下量 (cm)
 d_e : ドレンの受け持つ換算直径 (cm)

まず、時間 t における圧密沈下量を算出する。本工事の圧密沈下検討においては、表-3より圧密度 $U=10\%$ から $U=20\%$ に到達する期間が経過日数に対する沈下量が最も大きい期間となり、経過日数 $t=82-46=36$ 日間で、その間の沈下量が16.4cmとなった。

表-3 圧密度-経過日数検討結果一覧

圧密度(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
経過日数(day)	46	82	120	159	198	236	315	410	597	---
沈下量(cm)	16.44	32.88	49.33	65.77	82.22	98.66	115.10	131.54	147.99	164.43

次にドレンの受け持つ換算直径 d_e を算出する。本工事における打設間隔 d は正方形配置の1.5m間隔であるため、ドレンの受け持つ換算直径 d_e は

$$d_e = 1.13 \times d = 169.5 \text{cm} \quad \text{となる}^2)$$

以上の結果を嘉門らの提案式に代入し排水量を算出する。

$$\begin{aligned} q &= F_s \times S \times \frac{\pi}{4} d_e^2 / t \\ &= 2.0 \times 16.4 \times \frac{\pi}{4} \times 169.5^2 / 36 \\ &= 20,560(\text{cm}^3/\text{d}) = 0.238(\text{cm}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

よって、PVD材1本当たりの圧密排水量は、 $q=0.238\text{cm}^3/\text{s}$ となる。

水平ドレン材の必要排水量は、1列の水平ドレン材に接続されたPVD材から排水される圧密排水量の総量となる。本工事における水平ドレン材の敷設長は最大で144m程度となり、1列の水平ドレン材に接続されるPVD材の本数は最大で $N=96$ 本($144\text{m} \div 1.5\text{m}/\text{本}$)となる。よって水平ドレン材の必要排水量は $\Sigma q = 96 \text{本} \times 0.238\text{cm}^3/\text{s} = 22.8\text{cm}^3/\text{s}$ となる。

3.2.2 水平ドレン材の排水能力

水平ドレン材の排水能力は排水断面を一種の管路と考えて、排水量を求める。

マニングの流速公式から、

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad \text{及び} \quad Q = A \cdot V \quad \text{より}$$

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad \text{となる。}$$

上式に粗度係数0.025、径深 $1.109 \times 10^{-3}\text{m}$ 、動水勾配0.01、通水断面を $6.00 \times 10^{-4}\text{m}^2$ とし、表-1の水平ドレン材(CB-5-150)の排水量を算出すると以下の通りとなる。

Q : 流量 (m^3/sec)
 A : 通水断面 (m^2)
 V : 流水速度 (m/sec)
 n : 粗度係数 (0.025)
 R : 径深 ($1.109 \times 10^{-3}\text{m}$)
 I : 動水勾配 (1/100)

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} = 6.00 \times 10^{-4} \times \frac{1}{0.025} \times (1.109 \times 10^{-3})^{2/3} \times 0.01^{1/2}$$

$$= 2.57 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s} = 25.7 \text{ cm}^3/\text{s}$$

上記算出結果より、水平ドレン材（CB-5-150）の排水量 $Q=25.7\text{cm}^3/\text{s}$ が、PWD 材から 1 列の水平ドレン材に排水される必要排水量 $\Sigma q=22.8\text{cm}^3/\text{s}$ を上回ることから、本工事では水平ドレン材(幅 150mm、厚さ 5.5mm)が採用され、水平ドレン材を PWD 材各列に 1 本ずつ敷設し接続することで、概ね当初計画通りの圧密促進効果を得る結果となった。

3.3 水平ドレン材敷設時の留意事項

図-5 に示すように圧密に伴い排出される間隙水を域外に排水するために、水平ドレン材は盛土の法面から露出する程度まで敷設し排水経路を確保する必要がある。

また、水平ドレン材敷設後の盛土実施の際に重機作業によって誤って水平ドレン材が損傷し、排水経路が絶たれるリスク等を回避する対策として、水平ドレン材敷設方向と直角に PWD 材打設ピッチの 10 倍の間隔で水平ドレン材を敷設することを推奨している。

3.4 本工事における環境性能と経済性

圧密促進工法では、一般的に透水性の高い砂を用いたサンドマット層は、厚さ 0.5m 以上が必要とされている³⁾。本工事においては、サンドマット層の代替として水平ドレン材が採用され、約 5 万 m^3 の良質な砂を一般的な盛土材に置き換えることで、環境負荷の低減が可能となった。また、経済性においてもおよそ 60% の直接工事費の削減となった。

4. 今後の課題

近年、透水性の高い良質な砂の確保が極めて困難になってきている。そのため、水平ドレン材は PWD 工法改良地盤からの圧密排水層としてのみでなく、PWD 材を打設しない無対策地盤を圧密させる工事においても排水層としての需要が高まっている。また、サンドマット用砂材と異なり、液状化リスクが無いことも注目を集めつつある。無対策地盤における排水層設計手法の確立に向けた研究を進めており⁴⁾、研究検討を積み重ねてインフラ整備に貢献できる材料としての価値を高めていく所存である。

参考文献

- 1) 嘉門雅史ほか：プラスチックボードドレンの通水機能評価試験法について、国際ジオテキスタイル学会日本支部、ジオテキスタイルシンポジウム, pp.75-81, 1989.
- 2) 吉国洋：バーチカルドレン工法の設計と施工管理、技報堂, pp.29-30, 1979.
- 3) 道路土工 軟弱地盤対策施工指針（平成 24 年度版）, p.235, 2012.
- 4) 嶋本将希、石田領、上田凌大、岡田広久、山田卓、大寺正志、本間祐樹、山内義文：遠心模型実験における軟弱地盤上面に PBD を敷設した時の圧密沈下、第 60 回地盤工学研究発表会講演集, 22-4-1-04, 2025.

管更生（ARIS ライナー工法）での安全対策と環境への配慮

岡三リビック株式会社 工藤 章光^{*1} 伊東 作治郎^{*2} 木村 壮一^{*3}

1. 背景

我が国は人口減少社会に突入し、経済社会を支える労働力の高齢化により生産年齢人口の減少が避けられないが、厳しさを増す国際競争や財政制約の課題を抱えながらも持続的な経済成長の実現に向けて、立ち向かわなければならない。そのため建設産業は、これまでのインフラ投資の実績とストックの現状分析を的確に行い、今後のインフラ投資の価値の最大化と生産性の革命によって持続的に成長する経済社会をしっかりと下支えする社会インフラを守る必要がある。これらの社会インフラの中でも、下水道は各家庭に直結しているため最も身近に存在する社会インフラの一つである。また、農業用水や工業用水も産業に直結するインフラであるが、これらのパイプラインは普段目に見えない地下に埋設されることが多いためその存在が忘れられがちであるが、最も重要な社会インフラであり補修・補強等による整備を必要としている。

このような背景の中、管更生は内圧管、外圧管を問わず、地下に埋設された配管を安全で効率よく衛生的で安価に補修・補強できる技術として開発してきたが、今後ますますの需要拡大に対応する必要がある。特に農業用水や工業用水、下水道の一部の圧送管のような内圧管の管更生は高度な技術力を要するため、技術開発は急務である。

2. 管路における安全対策の必要性

例えば、一般の公共下水道に代表されるような重力配管の場合、管路内は流下物（雨水や汚水）に満たされることは一時的であり、平常時は流路断面としての気相の空間と流水断面に相当する液相があり、流下物の水深以上の内圧が既設管に作用することは無い。このような状況の管路において、老朽化に起因するクラックや継手の劣化は浸入水を誘発する（図1）。主に周辺地盤の地下水が浸入水として管路内に入り、目的の流下物と一緒に管路内を流下する（第一段階）。浸入水が周辺地盤の地下水のみの場合は、流下物の流量が増えるだけだが、周辺地盤の細粒分が地下水と一緒に流入するようになると、周辺地盤の空洞化が始まる（第二段階）。

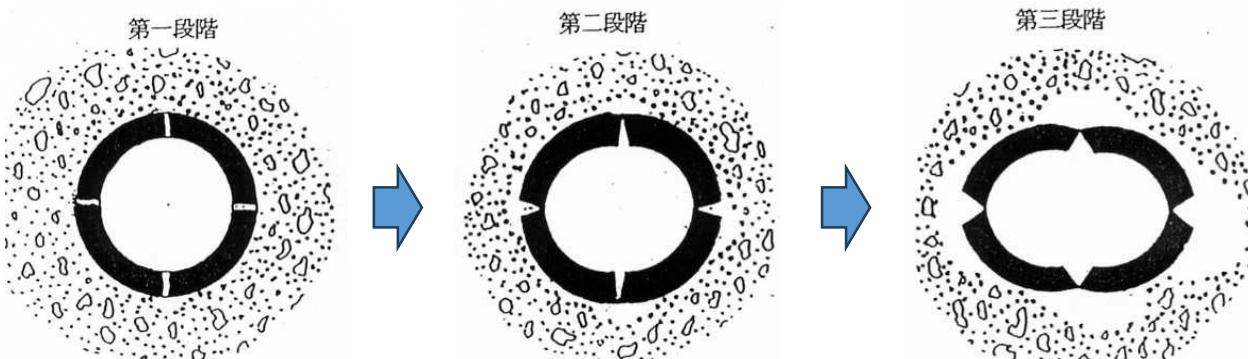


図1 管路の崩壊過程

管路を構造的に支えていた側方土圧が抜け始めると鉛直土圧が卓越し、管路はたわみの変形を起こす。たわみの変形によりクラック等がより大きく開き、さらに多くの浸入水が流入することとなる。多くの浸入水はより

*1 Yukihiko Kudo 東京都港区港南1丁目8番27号・TEL 03-5782-9087・FAX 03-3450-5387

*2 Sakujiro Ito 東京都港区港南1丁目8番27号・TEL 03-5782-9087・FAX 03-3450-5387

*3 Soichi Kimura 札幌市中央区北1条東2丁目5番8号・TEL 011-222-3351・FAX 011-222-3929

多くの土砂を管路内に流入させ、周辺の空洞化は加速する（第三段階）。管路周辺地盤の空洞は大きく成長すると地盤内の崩落と管路への流入を繰り返し、さらに大きくなりながら地表面へ移動し、最終的には地表面の陥没に至る。地表面が陥没する以前にこのような状況を判断するには、自走式のTVカメラ車で管路内を調査する必要がある。もちろん、作業員が入坑可能な場合は目視点検も有効である。

管路において接手部の劣化が起こった場合（図2）においても同様に周辺地盤の空洞化は起こる。管路内のTVカメラ調査等で浸入水を発見した場合は補修の計画に移行することが可能だが、降雨等が少なく地下水位が低い時期に調査した場合には、浸入水箇所を発見できないこともあるため、定期的に繰り返し調査を行うことの意義は大きい。また、浸入水を発見した場合においても、図1や図2に示したように明らかに管路にも変形等の異常をきたしている場合ではないことも多く、管路の背面の周辺地盤にどの程度の空洞が形成されているかの把握は特に困難である。そのため、管更生の設計においては既設管の残存強度を見込まない自立管形式の構造が望まれることが多いが、早期に発見す

ることが可能であれば、漏水対策のみを対象とすることでより安価な補修計画が可能となる点も指摘される。このように、地下に埋設されている管路の老朽化を正しく把握し効果的に補修するには多くの課題があり、限られた財源で管路の健全性を保つには補修方法の選定や補修時期を早めるなど、より多くの工夫が必要である。

同様な重力配管の管路として、道路横断の排水管等においても下水道等と同様に管路の安定が損なわれているケースが多く確認されており、特に道路盛土の沈下や道路陥没に至らないためにも、入坑しての目視調査やTVカメラ調査は有効である。

一方、農業用水や工業用水に多く見られる圧力管においては、重力配管のように老朽化が進行する管路を放置して使用し続けることは難しい。それは、目的とする流下物が管路から漏出することにより、予定の流量を下流に運搬することが出来なくなることでもあるが、漏出する流量が多い場合には舗装路面が剥がれるほどの用水の噴出になることもあり、特に注意が必要である。また、重力配管の場合とメカニズムは異なるものの、管路周辺地盤において水みちを形成し、ひいては周辺地盤の大規模な空洞化と圃場等の大陥没を誘発した事例もあることから、圧力配管である場合も重力配管である場合においても管路の内外の水を遮断するという意義は大きく、管更生への問い合わせは増加する一方である。

3. 工法の概要

ARISライナー工法は、熱硬化性樹脂と纖維で構成されるライニング材を反転または引込挿入し、内圧によって拡径しながら既設管に押圧して硬化させる管更生工法である。特に内圧管において対象区間の始点と終点で高低差があるなど管路勾配が大きい場合や、河川等の伏せ越しを有する農業用水などにおいても適用す

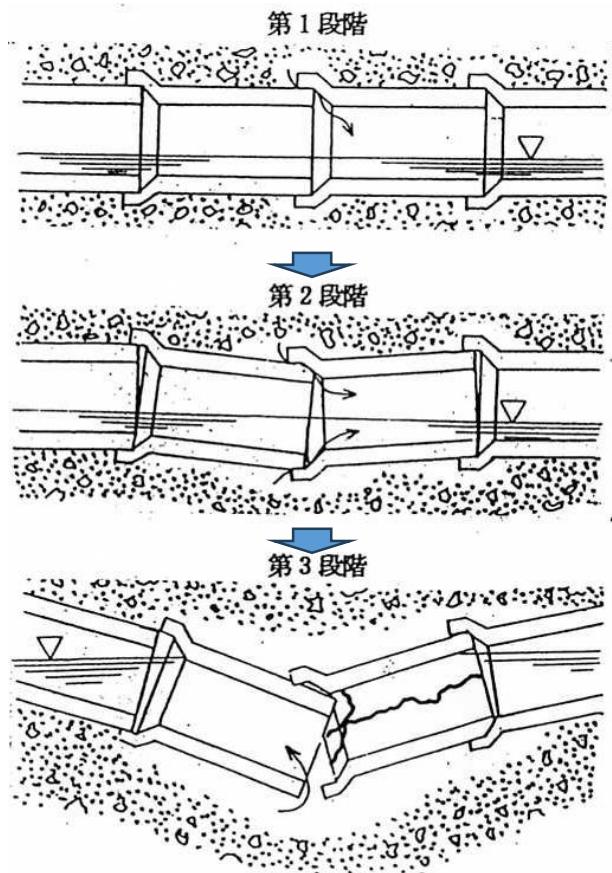


図2 接手部の劣化に起因する崩壊過程

することができる。また、対象区間が 100m を超えるなど長い管路や、管径が 1,200mm を超えるなど大きい管路においても幅広く活用することができる。

表 1 摘要

管 径	$\phi 100\text{mm} \sim \phi 1,800\text{mm}$
施工延長	1 反転当たり最大 500m (施工条件による)
管 種	鋼管、鉄筋コンクリート管、陶管、鋳鉄管、塩ビ管、FRPM 管、ポリエチレン管など
内水圧	設計水圧 1.0MPa
構造計算	土地改良事業計画 設計基準 パイプライン 基準書・技術書に準拠
流速係数	150 (ヘーゼンウィリアムス公式)
粗度係数	0.01 (マニング公式)
構造形式	自立管 ライニング管

4 ARIS ライナー工法の特徴

4. 1 ロングスパン・中大口径の採用多数

従来は施工延長 100m 程度が限界であったが、それを遥かに凌ぐロングスパンでの施工が可能である。立坑掘削ができない区間を跨いで施工することが可能となるため、立坑掘削が困難な住宅地や圃場の横断箇所、交通量の多い国道などの横断管、河川横断や山間部などで採用されている。最大施工延長は、対象管径と設計上の板厚によって単位長さ当たりの重量が決まるが、その単位重量と施工箇所近隣の道路事情から決まる運搬可能重量とを考慮して決定することとなる。また、従来から採用事例の多かった $\phi 300\text{mm}$ 程度の小口径のみならず、中大口径の $\phi 800\text{mm}$ 以上の管路においても実績が多く、全国的に採用されている。

4. 2 急勾配管路にも負けない

河川横断管や道路横断管に多く見られるサイホン管路や、山間部の斜面配管などの急勾配管路の実績がある。当然、勾配がある管路で管内を水で満たすと、高低差で圧力差が発生するため従来技術では施工できなかったが、ARIS ライナー工法は水圧と空気圧を併用するため、圧力差を解消し板厚が均一でムラの無い施工が可能である。

4. 3 短時間施工や様々な形状にも対応

特に大口径管路においては、従来の温水を使用する技術と比較しても施工時間の短縮を可能としており、近隣地域の環境に配慮した施工が可能である。短時間施工により、断水期間や交通規制の期間短縮、施工機械による騒音減少も期待できる。既設管の形状は円形以外でも対応可能である(図 4)が、いずれの場合においても更生管は円形として施工を提案している。これは更生管の設計手法が円

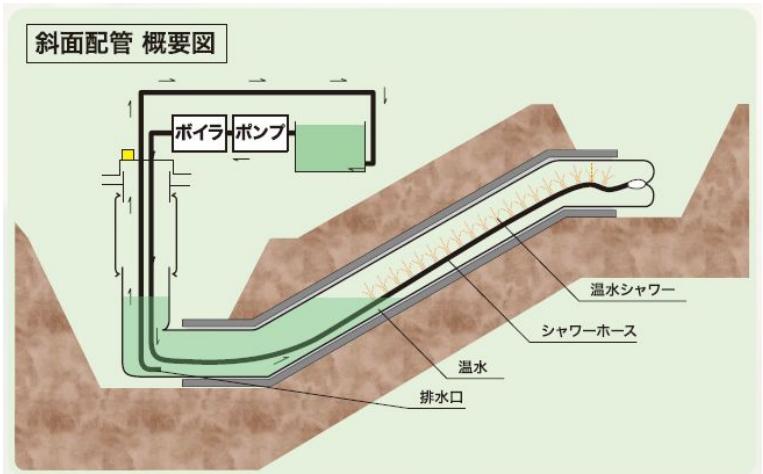


図 3 急勾配管路の施工



写真 1 急勾配管路の例

形管として板厚を決めているためであり、形状が異なる場合はそれぞれの形状に応じた設計手法を確立する必要がある。

4. 4 農業用ため池の防災・減災に貢献

近年頻発する豪雨等の自然災害により、農業用ため池が決壊する事例が出ている。ARIS ライナー工法は、ため池の樋管（底樋、斜樋）で実績が多く、樋管の漏水対策により堤体の安定が向上するだけでなく、流下能力の向上によって排水量の増加に貢献している。

4. 5 環境への配慮

建設業界では安全性の確保と同時に、環境負荷の低減が強く求められている。特に、地球温暖化対策やカーボンニュートラルの実現に向けて、施工現場での CO₂排出量削減、省エネルギー化、資源の有効利用は不可欠な課題である。ARIS ライナー工法は、既設管を撤去せずに新管を構築する技術であり、廃材の発生を抑制し、資源循環型社会の形成に寄与する。ARIS ライナー工法では、硬化養生において従来の満水方式を採用せず、温水シャワーリングシステムを導入することで使用水量を最大 90% 削減し、これによりボイラー稼働時間を短縮して CO₂排出量を大幅に低減している。さらに、短時間施工を可能にする技術により、現場での機械稼働時間を短縮し、電力や燃料の消費を抑えることで省エネルギー化を実現している。また、掘削して全てを新管に布設替えするケースと比較すると圧倒的に掘削土量が少なく工事の施工期間が短縮できるため、施工時の騒音や交通規制期間を短縮することができ、周辺住民や生態系への影響を最小化することができる。これらの観点から ARIS ライナー工法は、安全性と環境性能を両立させる技術として、持続可能な社会インフラの維持に貢献している。



写真2 ため池の例

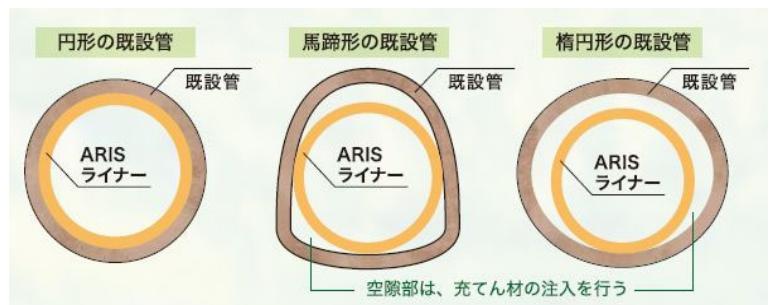
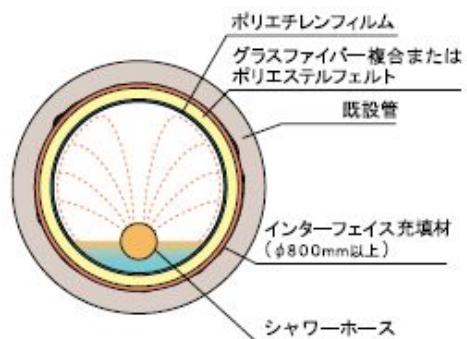


図4 様々な既設管形状に対応

図5 温水シャワーリングシステム



5 ARIS ライナー工法の材料特性

ARIS ライナー工法で使用するライニング材の物性値は表 2 の通りである。

表 2 ライニング材物性値と構成

		スタンダードタイプ	高強度タイプ
物性値	曲げ強さ MPa	40.30	135.00
	曲げ弾性率 MPa	2,600	7,000
	引張強さ MPa	27.30	81.00
材料構成	樹脂吸収材	ポリエステルフェルト	グラスファイバー複合 ポリエステルフェルト
	コーティングフィルム	ポリエチレン 0.8mm	ポリエチレン 0.8mm
	含浸樹脂	不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 エポキシ樹脂	不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 エポキシ樹脂

6 主な施工実績

表 3 ARIS ライナー工法施工実績（抜粋）

施工年月	施工場所	発注者	管径 (mm)	延長 (m)	設計板厚 (mm)	特 徴
H23.1	岩手県	農水省	φ1,200	206.20	11.0	勾配 30 度、斜面配管、高低差 60m
H24.12	滋賀県	都道府県	φ1,000	230.00	12.0	大口径、ロングスパン
H25.3	香川県	農水省	φ800	330.10	10.0	ロングスパン
H26.3	岩手県	農水省	φ1,500	50.10	14.0	勾配 47 度、斜面配管、高低差 26m
H26.3	奈良県	農水省	φ600	363.50	6.0	ロングスパン
H27.2	奈良県	農水省	φ600-700	84.08	11.0	レジューサー加工
H27.10	岩手県	農水省	φ1,382	121.78	16.0	勾配 27 度、斜面配管、高低差 42m
R1.11	静岡県	都道府県	φ1,000	127.40	11.0	短時間施工（断水期間 3 日間）
R2.5	山梨県	都道府県	φ250	153.60	6.0	ロングスパン、設計水圧 1.0MPa
R3.2	愛知県	都道府県	φ800	71.75	11.0	ため池底樋
R3.3	福島県	農水省	φ800	46.34	18.0	勾配 40 度
R3.12	北海道	都道府県	φ900	75.00	8.0	河川横断、サイホン
R3.12	三重県	都道府県	φ450	104.00	5.0	ロングスパン
R4.1	大阪府	都道府県	φ750	68.80	13.0	ため池底樋
R4.2	静岡県	都道府県	φ450	190.00	5.0	短時間施工（断水期間 3 日間）
R4.3	岡山県	都道府県	φ700	228.56	7.0	ロングスパン
R5.1	鳥取県	都道府県	φ1,000	167.10	9.0	ロングスパン
R5.10	長崎県	都道府県	φ1,100	14.00	12.0	道路横断管（コルゲート）
R5.11	静岡県	都道府県	φ1,200	63.03	10.0	短時間施工（断水期間 3 日間）

7 施工手順

基本的な施工の手順を図 6 に示す。

1 事前調査工

施設の状態を確認。作業ヤード及び現場付近の状況を把握。

2 ライニング材製造

事前調査結果をもとに、工場でライニング材を製造する。

3 本管洗浄工・管内調査工

高圧洗浄車で管内洗浄し管壁の汚れや付着物を除去する。

管内調査を行い、異物が無いか確認する。

4 前処理工

管内に堆積物、モルタル・木根等の異物があった場合は、

高圧洗浄車や前処理ロボットを使用して除去する。

5 反転タワー設置・機材設置

発進側の管口上部に反転タワーを設置し機材を配置する。

6 反転挿入工・引込挿入工

ライニング材を反転しながら管内に挿入する。または、

ライニング材を管内に引込挿入する。

7 硬化養生工

ボイラーを燃焼させて温水を循環し、硬化養生を行う。

硬化後は冷却水を循環させて管内を徐々に冷却する。

8 管口切断工・穿孔工

ライニング材を切断する。

9 インターフェイス充填工（ $\phi 800$ 以上）

更生管内に充填口を設置し、インターフェイスに充填する。

10 出来形確認

更生管の内径、板厚、延長を規格値内であることを確認する。

11 本管洗浄工・管内調査工

高圧洗浄車で管内洗浄し管口切断時の粉塵等を除去する。

管内調査を行い、施工後の仕上りを確認する。

12 管口仕上げ

両端部の管口を所定の方法で仕上げる。

13 片付け・完成

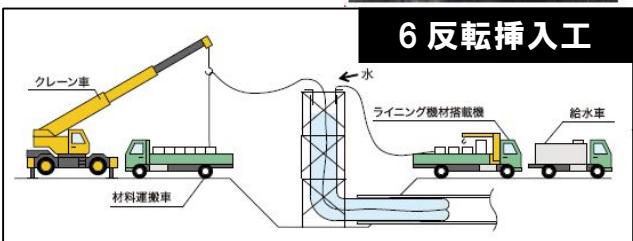
3 本管洗浄工



4 前処理ロボット



6 反転挿入工



8 管口切断工



9 充填工



10 板厚測定



10 板厚測定



12 管口仕上げ

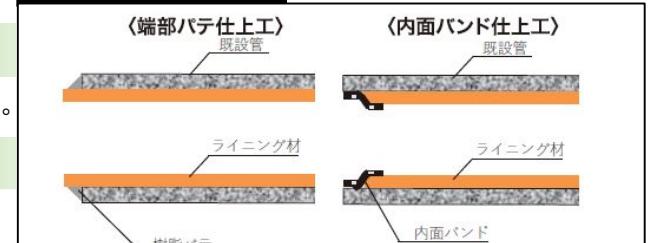


図 6 施工手順

8 まとめ

管更生工法は、最も現場に適した補修技術とするため、現場のニーズに応じて製造したライニング材をオンラインサイトで既設管に押圧して硬化させることで既設管に最適な新たな更生管を生み出す手法として開発され、世界中で広く採用されてきている。しかし、当然のことながら現場における施工条件とは、浸入水や滯水が多く樹脂の硬化が阻害されるケースや、管路勾配が大きくて施工そのものが阻害されるケース、管内の腐食や堆積物により流水断面が減少しているケースや樹木根などの侵入により流水断面が確保されていないケースなど様々であり、他の管更生メーカーからの対応不可の回答に落胆している発注者も多い。様々な技術要素を取り入れ、新たな技術の開発によって幾多の不可能を可能にしてきた ARIS ライナー工法に問い合わせ下さい。

参考文献

- 1) 公益社団法人農業農村工学会：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」、令和3年6月
- 2) 一般社団法人農業土木事業協会：農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（パイpline編）(案)、平成29年4月

床版断面補修材 OJMを使用したジェットモルタルPFの施工事例

小野田ケミコ株式会社	西條 尚	※
々	保坂 仁哉	※※
々	久我比呂氏	※※※
々	大村 公一	※※※※
々	齋藤 俊司	※※※※※

1. はじめに

道路橋梁床版の補修では、従来より超速硬系コンクリートの補修材が多く使用されてきた。しかし近年、一部の補修部で再劣化や剥離の事例が報告されている。主な原因の一つとして、既設コンクリートと補修材の弾性係数の差により、交通荷重や振動を受けた際の挙動が異なり、界面部への応力集中が生じることが原因と指摘されている。

この課題に対し、近年では低弾性化を図った超速硬系ポリマー修復材の採用が進んでいる。しかし、ポリマー系材料はポリマーの造膜作用により、施工性や仕上げ性が低下するという課題があった。

そこで開発されたのが、ノンポリマータイプの超速硬モルタル「ジェット[®]モルタルPF」（以下JMPF）である。JMPFはポリマーを使用せずに低弾性化と耐久性を実現し、従来の超速硬系モルタルと同等の施工性を確保している。さらに、現場での製造効率と品質安定性を両立させるため、移動式バッチャジェットミキサ車（以下OJM（オノダ・ジェット・ミキサ））による現場製造方式も可能としている。現場条件に応じて、OJM方式と手練り方式の2通りの施工方法を選択できる点も大きな特長である。

2. 「JMPF」の特長

JMPFは、超速硬系の反応特性を活かしつつ、低弾性化を実現した補修モルタルである。以下に主な特長と表一に性能を示す。

① 優れた施工性

ノンポリマーとすることで、ポリマー系特有の造膜作用が無く、施工性と仕上げ性を確保。手練りでも扱いやすく、均一な仕上がりが得られる。

② 低弾性による追従性

既設コンクリートとの弾性係数差を小さくすることで、交通荷重によるひび割れ・剥離リスクを軽減。構造物の挙動に追従する補修が可能。

③ 高い早期強度発現性

打設後数時間で高い強度を発現し、短時間での交通開放が可能。夜間施工など限られた時間内での補修に最適。



写真-1 オノダ・ジェット・ミキサ(OJM)

* ¹⁾ Hisashi Saito	北海道札幌市中央区北1条西13-4	TEL:011-219-6560 FAX:011-219-7887
* ²⁾ Jinya Hosaka	北海道札幌市中央区北1条西13-4	TEL:011-219-6560 FAX:011-219-7887
* ³⁾ Hiroshi Kuga	東京都墨田区江東橋4-11-1	TEL:03-5638-8564 FAX:03-5638-8567
* ⁴⁾ Koichi Ohmura	東京都墨田区江東橋4-11-1	TEL:03-5638-8564 FAX:03-5638-8567
* ⁵⁾ Shunji Saito	東京都墨田区江東橋4-11-1	TEL:03-5638-8564 FAX:03-5638-8567

④ 品質の安定性（OJM製造時）

OJMは、トラック搭載型のバッチ式ミキサ車であり、材料供給から混練・排出までを自動制御。また、強制二軸練りミキサにより混練能力が高く、安定した品質を確保できる。

⑤ 環境・安全性への配慮

ポリマーを使用しないため、洗い水などの処理において廃棄物削減が出来る。また、OJMを使用する場合は全自动であるため、施工に於いて高い安全性が確保される。

表－1 J M P F の性能一覧

項目	温度/℃	結果	基準値	項目	温度/℃	結果	基準値
凝結時間(始発)/分	5	41	30以上	寸法安定性/%	23	収縮0.006	収縮0.025以下
	23	45		静弾性係数/kN/mm ²	5	26.4	26.5±5
	35	32			23	29.0	
圧縮強度(2h)/N/mm ²	5	23.5	10以上		35	28.5	
	23	27.7	付着強度/N/mm ²	—	3.63	1.5以上	
	35	28.0		—	2.67	1.5以上	
圧縮強度(4h)/N/mm ²	5	26.3	24以上	相対動弾性係数/%	—	109	60以上
	23	31.7			—	変状なし	ひび割れ無し
	35	33.8			—	1.1	1.0±0.5
圧縮強度(28d)/N/mm ²	5	45.9	—	熱膨張係数/×10 ⁻⁵ /℃	—	同 等	補修設計と同等以上
	23	62.4			—	同 等	補修設計と同等以上
	35	60.0			—	同 等	

3. OJMを使用した施工

3.1 OJMの特徴

OJMの特徴と、表－2に主要仕様を示す。

① 現場での即時製造が可能

OJMは、各材料（水、粉体、遅延剤など）を車両に搭載した独立タンクとロードセル計量システムにより、現場で所定配合を自動製造できる。また、現場条件や施工進捗に合わせた必要量の製造が可能であり材料ロス削減と品質安定を両立する。

② 高精度な自動計量・混練システム

計量はコンピュータ制御によるロードセルにより個別重量計量により管理される。練り混ぜは強制二軸ミキサで行い、安定した品質が確保される。可使時間は、遅延剤添加量の設定により制御可能であるため、再現性の高い品質管理が実現する。

③ 高い機動性と生産性

OJMは22t車ベースの移動式プラント車であり、1バッチあたり0.3m³までの製造が可能。設置や撤去に要する準備時間が少なく、道路規制内や高架橋上規制内などでも柔軟に対応できる。また、材料を追加補給することで大量打設にも対応し工期短縮と省力化に寄与する。



写真-2 オノダ・ジェット・ミキサ(OJM)

表－2 OJM 主要仕様

項目	内容
形式名称	OJM (300-22)
製造方式	自動計量・強制二軸攪拌方式
計量装置	コンピュータ制御演算付き ロードセル計量方式（6鉛柄）
製造能力	約0.3m ³ /バッチ 6.0~9.0 m ³ /h
車両諸元	全長10.5m、全幅2.5m、全高3.3m 総重量 22t

④ 施工環境に応じた柔軟な対応

大面積や連続打設では、OJMを活用することで、施工量・工程・施工時間に応じた最適運用が行える。

⑤ 品質安定・環境負荷低減

現場練りに伴う余剰材の発生を抑え、環境負荷を低減する。

3.2 施工手順

以下に施工手順を記す。

配合設定確認（各材料計量値の入力）



計量開始

計量手順（自動・質量計量）

材料計量器 JMPF

水関係計量器 混練り水、遅延剤



実際の計量値確認

（設定値と計量値の過不足確認、是正）



材料投入手順（自動投入）

JMPF → 混練り水 → 遅延剤

練り混ぜ（3分練り混ぜ）



目視による品質確認（フレッシュ性状の確認）



排 出

（必要に応じて圧縮強度供試体の採取）



運搬・打ちこみ・仕上げ・養生

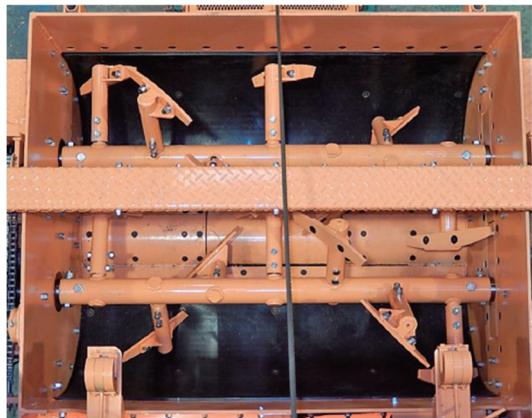


写真-3 OJM ミキサ



写真-4 材料投入状況

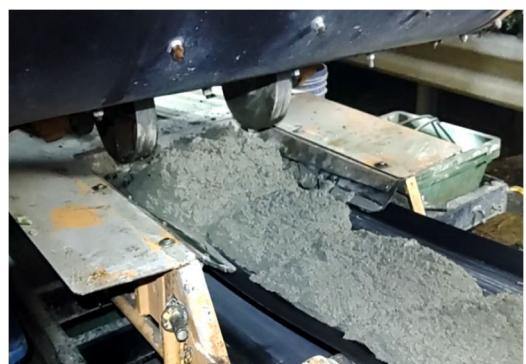


写真-5 排出状況



写真-6 荷卸状況

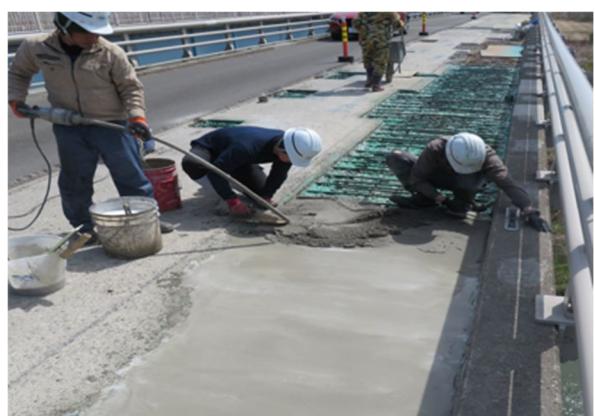


写真-7 施工状況

3.3 品質管理

製造における品質管理は以下に示す。

表—3 品質管理項目

項目	試験・検査方法	時期・回数	判定基準
フレッシュモルタルの状態	目視 JIS R5201 フロー	打ち込み当初および打ち込み中随時 ミキサー車の排出時(1回/日)	ワーカビリティーがよく、品質が均質で安定していること。 フロー 150mm以下(引抜値)
練り上がり温度 (参考値)	温度測定	圧縮強度試験用供試体採取時	(参考値で、上限・下限値なし)
硬化モルタル	JIS A 1108の方法 に準ずる	1日1回 (または50m ³ /回)	4時間材齢における圧縮強度 24.0N/mm ² 以上

3.4 施工事例

以下に 2025 年度の JMPF 主な施工実績を記す。北海道地域においては NEXCO、開発局など 3 件の実績があった。

表—4 施工事例

	年月	Co種類	施工方法	施主	工事名	用途
1	2025.4	JMPF	手練り	西日本高速道路株	九州自動車道、熊本保全工事	断面修復
2	2025.5	JMPF	手練り	宮城県、岩手県、山形県	桜橋々側歩道橋補修工事	断面修復
3	2025.5	JMPF	手練り	東日本高速道路株	東北自動車道、山形自動車道 舗装補修工事 等	断面修復
4	2025.5	JMPF	OJM	西日本高速道路株	令和5年度 九州自動車道	断面修復
5	2025.5	JMPF	手練り	東日本高速道路株	札樽自動車道札幌北地区舗装補修工事	断面修復
6	2025.5	JMPF	手練り	札幌市	国庫補助事業白石環状跨線橋(上り線)ほか1橋補修工事	断面修復
7	2025.6	JMPF	OJM	西日本高速道路株	令和5年度 九州自動車道(特定更新等)桑の丸橋(上り線)他2橋床版取替工事	断面修復
8	2025.6	JMPF	手練り	東日本高速道路株	札樽自動車道札幌北地区舗装補修工事	断面修復
9	2025.7	JMPF	OJM	東日本高速道路株	秋田自動車道R6秋田管内舗装補修工事	断面修復
10	2025.7	JMPF	手練り	岩手県	一般国道340号山下三の橋ほか橋梁補修工事	断面修復
11	2025.7	JMPF	手練り	千葉港湾事務所	県単港湾管理修繕(コンテナヤードコンクリート)	断面修復
12	2025.8	JMPF	手練り	東日本高速道路株	東北自動車道R6松尾八幡平～安代間舗装補修工事	断面修復
13	2025.8	JMPF	手練り	札幌開建	千歳道路維持管理	断面修復

4.まとめ

JMPF は、従来の超速硬系モルタルの課題であった「弾性差による剥離」や「施工性的低下」を克服した、次世代型の低弾性・超速硬モルタルである。OJMによる現場製造を組み合わせることで、品質の安定化と効率的な施工を実現した。

今後も、限られた施工時間で確実な補修が求められる橋梁・トンネル等の現場において、JMPF は信頼性の高い補修材として、さらなる普及が期待される。

積雪寒冷地に適した緑化植物に関する検証－苫小牧試験施工での事例－

寒地土木研究所

佐藤 厚子^{*1}

寒地土木研究所

山木 正彦^{*2}

1. はじめに

道路および河川堤防などの土構造物ののり面は、降雨、降雪、風などによる侵食を抑制するために保護工を施工する。北海道は寒冷地であるため、のり面が凍上により崩壊することがある。これを防ぐために、のり面保護は構造物ではなく、植物により緑化する方法が一般的である。国土交通省北海道開発局では複数のイネ科外来牧草を数種類混播して緑化しのり面を保護している。一方、国内で使用されている外来牧草の種子はすべて輸入に頼っており、採取地域の高温多雨、乾燥などの異常気象によりこれらの植物の生育が妨げられ、採取する種子が減少した場合、数年におよび種子の調達が困難となることが予測される。結果として、北海道において十分なのり面緑化・保護ができなくなることが懸念される。また、道路土工切土工・斜面安定工指針に示している積雪寒冷地に適した緑化植物の種類が非常に少なく¹⁾、種子不足となった場合、寒冷地での迅速な対応が困難である。これらのことから、のり面緑化植物の種子の供給不足に対応するため、北海道のような積雪寒冷地に適した複数の緑化植物を明らかにし、選択肢を増やす必要がある。本報告は、北海道に適した植物を見いだすため行った試験施工の結果をまとめたものである。

2. 試験施工の方法および調査の方法

2. 1 試験施工の方法

(1) 試験施工に用いた植物

のり面緑化植物には、耐暑性、耐寒性、耐陰性、耐旱性、病虫害抵抗性などが求められる。これらのすべての特性を有している植物がないことから、一般的には複数の植物を混播してのり面緑化する²⁾。北海道開発局では、クリーピングレッドフェスク (CRF)、ケンタッキーブルーグラス (KBG)、ハードフェスク (HF) の3種を混播してのり面を緑化している。これらに新たに寒冷地で生育できる植物を増やすことを目的として試験施工を行った。新しい緑化植物として令和(以降 R と表す)4年度中に産業管理外来種に該当せず、寒地型、のり面適正型の植物で、安定的に生産が可能なメドウフェスク (MF)、チューイングフェスク (CF) を選定した。また、過去に北海道開発局で使用されていたが、環境省の「産業管理外来種」に指定され、利用上の留意事項に沿って適切な管理が必要な植物であったため使用されなくなったトールフェスク (TF) についても試験

表-1 試験施工に用いた植物と繁殖形態

草種	繁殖形態	
クリーピングレッドフェスク (CRF)	地下茎	茎が地下に伸び、その先に地上茎が発生し増える
ケンタッキーブルーグラス (KBG)	地下茎	
ハードフェスク (HF)	分けつ茎（株型）	
メドウフェスク (MF)	分けつ茎（株型）	
チューイングフェスク (CF)	分けつ茎（株型）	根元から新しい茎が分かれて増える
トールフェスク (TF)	分けつ茎（株型）	

*1 Atsuko Sato 札幌市豊平区平岸1条3丁目 ・TEL 011-841-1709 ・FAX 011-841-7333

*2 Masahiko Yamaki 札幌市豊平区平岸1条3丁目 ・TEL 011-841-1709 ・FAX 011-841-7333

施工の対象とした。のり面緑化植物には、地下茎、ほふく型、分けつ型の3種類の生育特性があり、これらを組み合せた植物による緑化が適切である。6種類の植物の生育特性を表-1に示す。CRFとKBGは地下茎型、HF、MF、CF、TFは分けつ型である。これらの植物について現在適用している配合を参考としていくつかの配合を検討してさらに単播での生育状況も確認した。

(2) 試験施工方法

R5年に北海道に適した植物を選定するため試験施工³⁾を行ったが、施工後の雨不足の影響により全般的に植物の生育が不十分であったことから、本検討では、これを補足するために、新たにのり面を造成し種々の配合で緑化した。また、新しい植物の持続性を確認するため、R5に平面部に施工した箇所の植物について生育状況を追跡調査した。R5は、播種後の降雨不足により良好な生育とならなかった。これを踏まえて、R7年は降雨によるのり面の侵食、種子の流出、客土の乾燥を抑制するために、ラス網を張ったあと、基盤材として3cmの客土を吹きつけ、種子を散布した後、わらむしろで養生した。種子の散布は1配合当たりの施工量が小さかったことから手巻きとした。

対象とした基盤の土壤特性を表-2に示す。のり面部の土壤は壤土で、平面部の土壤は砂土である。河川堤防の緑化を対象として提案された植生基盤としての適正度評価基準（案）⁴⁾に示されている土壤改良を行うことが適切とされている物性値と比較すると、粒度組成においてのり面部の土壤は適性が高いと判断されるが、平面部の土壤は改良を要すると判断される。

試験施工の概略を図-1に示す。のり面部は南向きで各配合により植物の種子を散布した。平面部は、砂利と土砂を混合し5種類の異なる土壤に播種した植物の生育状況から、播種植物の持続性について調べた。平面部では、地山を15cm程度掘削し、ここに土砂と砂利を混合した土壤を投入した。土壤は、土砂および砂利と、それぞれを体積比で1:3、1:1、3:1とした5種類である。

平面部では腐植酸散布、客土吹きつけ(3cm)を行っている。

使用する種子の播種量は次式²⁾によった。播種量を表-3に示す。

使用する種子の播種量

$$W = A / (B \times C \times D \times E \times F \times G) = A / H$$

W: 使用種子ごとの播種量 (g/m²)

A: 発生期待本数 (本/m²)

B: 吹きつけ厚に対する補正率 (発芽可能厚さ ÷ 吹つけ厚)

C: 立地条件に対する各工法の補正率

D: 施工時期に対する補正率

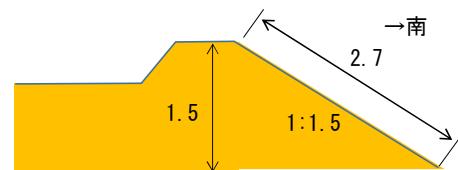
E: 種子の発芽率(%)

F: 使用種子の単位粒数 (粒/g)

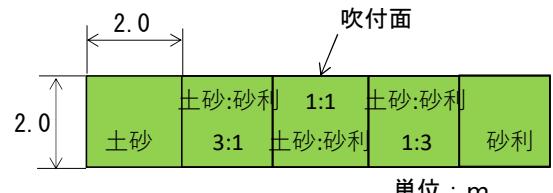
G: 使用種子の純度

表-2 試験施工の土壤特性

盛土材	のり面 部	平面部		要土壤改良値
		土砂	砂利	
粒度組成	壤土	砂土	砂土	砂土以下
pH	7.0	8.6	-	4.5~8.0 以外
山中式土壤硬度(mm)	23.8	12.8	12.3	30未満



a. のり面部への施工 (断面図)



b. 平面部への施工 (平面図)

図-1 施工箇所の概略

A の発生期待本数は 5000 本/m² とし、各試験区における植物の配合は過去の経験に基づいて設定した。B の吹きつけ厚に対する補正は、植物が発芽できる厚さよりも基盤材が厚くなると、基盤材の下の方では播種植物が生育できないのでこれを補正するものである。植物が発芽できる厚さは植物ごとに異なっており、吹きつけ厚さは客土吹きつけの場合 3cm、腐植酸散布では基盤材がないので B は 1 となる。C はのり勾配やのり面の向き、D は播種時期であり、今回の試験施工では、補正が不要であったことから 1 である。E 、F、 G は、種子の産地・採取時期などにより異なることから、同じ配合であっても施工年や施工場所により播種量が異なっている。a.は、試験区間の植物の発生期待本数（1000 本）を配合ごとに示しており、B、D、E、F、G により算出された播種量を b.、c.に示す。

表-3 試験区間の播種量の計算

a.試験区間の植物の発生期待本数（1000 本）

配合 植物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CRF	5					3	3	3	3	3						1		1.
KBG		5				1	1	1				1	1	2		1		1.
HF			5			1			1	1		1	1		2	1		
MF				5			1		1		1	3		1.	1.	1		
CF					5			1		1	1		3	1.	1.	1		
TF																5	2	

b.のり面部への施工の種子の播種量（g/m²）

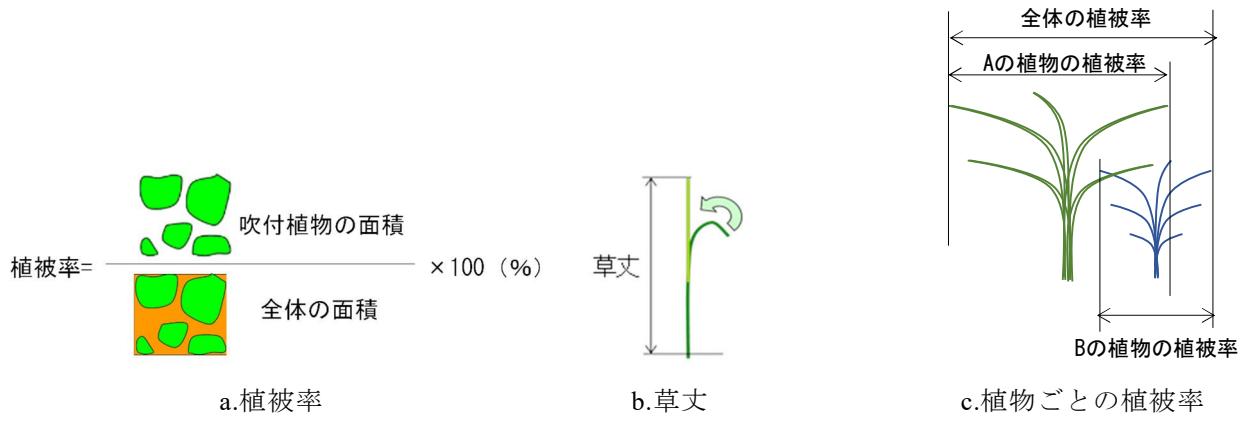
配合 植物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CRF	9.6					5.8	5.8	5.8	5.8	5.8						1.9		2.9
KBG		14.9				3	3	3				3	3	6		3		4.5
HF			20.3			4.1			4.1	4.1		4.1	4.1		8.1	4.1		
MF				17.9			3.6		3.6		3.6	10.8		5.4	5.4	3.6		
CF					9.7			1.9		1.9	1.9		5.8	2.9	2.9	1.9		
TF																24.7	9.9	

c.平面部への施工の種子の播種量（g/m²）

配合 植物	腐植酸散布								客土吹きつけ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
CRF		2.4		2.3		2.3	1.9	1.2		7		7		7	5.7	3.4	
KBG		1		1		1		0.8		2.8		2.8		2.8		2.3	
HF	5	1、						1.1	16.6	3.3						3.3	
MF			6.6	1.3			2.5	1.2			19.6	3.9			7.5	3.5	
CF					3.3	0.7	1	0.6					9.8	2	3	1.8	

(3)調査の方法

のり面部の調査区で、R7年6月3日の施工終了後、6月17日、7月11日、8月1日、8月22日、9月5日、9月29日に播種植物とその他植物の生育状況として植被率を測定した。このとき、単播箇所では草丈も測定した。植被率は、図-2a.に示すように、植物が生育している面に対して垂直方向の面積あたりに占める植物の割合である。草丈は伸張した植物の長さである。ま



た、のり面部ではR7年9月30日に、平面部では、R5年5月22日の施工の後、R5年10月下旬、R6年10月上旬、R7年10月上旬に各施工場所について植物全体の植被率（全体植被率）と植物ごとの植被率および草丈を測定した。植物ごとの植被率は、図-2c.に示すように植物ごとに草高や葉の幅が異なることから、植物ごとの植被率の合計（例えば図-2ではA+B）が必ずしも全体植被率と同じとはならない。

なお、播種植物以外の植物をその他植物とし、侵入による影響も調べた。

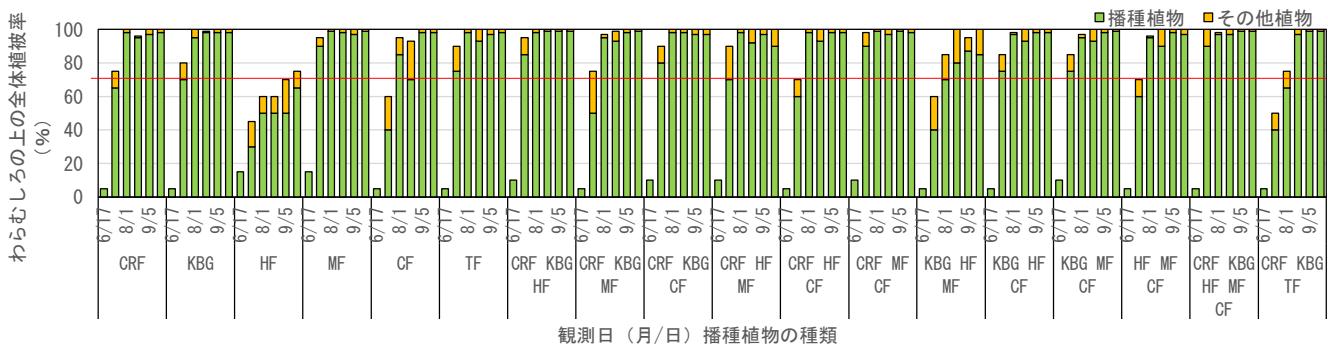
さらに、わらむしろ設置による保護効果を確認するため、9月5日に植物が生育していない箇所において、わらむしろ直下、わらむしろを設置していないのり面部の地表面、深さ10cmの含水比を測定した。

3. 結果と考察

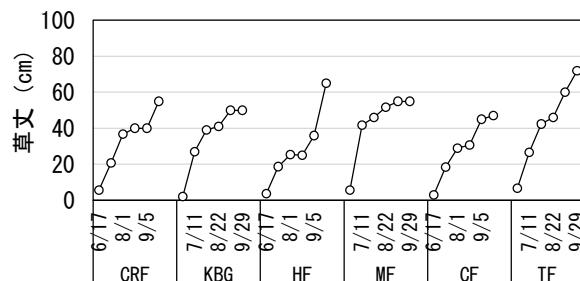
(1) 緑化の評価

播種植物とその他植物についてわらむしろの上の全体植被率を図-3a.に、単播植物の草丈を図-3b.に示す。どの調査区においても時間の経過とともに植被率は高くなり、植物の草丈は高くなっている。植物の種類により、草丈が異なっていたが、すべての植物で草丈は50cm以上となった。植物の葉が自然に垂れた状態で最も高い位置を示す草高はどの植物でも30cm程度であったことから、のり面緑化として草刈りが必要な草高ではなく、適切な生育状態といえる。全体的に施工からの時間が短いときは、播種した植物の植被率が低くその他植物の植被率が大きい。その後時間経過により播種した植物の植被率が高くなりその他植物の植被率が低くなる傾向が見られた。道路土工指針では、緑化の成績判定の目安として、草地型の播種工では、施工3か月後の植生の状態として「のり面から10m離れると、のり面全体が「緑」に見え、植被率が70~80%以上である。」とされている⁴⁾。R5、R6の調査では、播種植物の植被率が70%を超えた調査区は非常に少なく、その他植物の植被率が多くあったが、R7施工ではほとんどが播種植物でありその他植物が少なかった。播種した植物のわらむしろの上の植被率は、HFのみを播種した調査区で調査期間内に70%の植被率とはならなかつたもののKBG、MF、TF、CRF KBG HF、CRF KBG CF、CRF HF MF、CRF MF CF、KBG HF CF、KBG MF CF、CRF KBG HF MF CFでは7月11日に、CRF、CF、CRF KBG MF、CRF HF CF、KBG HF MF、HF MF CFは8月1日に、CRF KBG TFは8月22日に、播種した植物の植被率は70%以上となった。本試験施工は、6月3日に播種しており、3か月後は9月3日である。播種植物およびその他植物の合計は、9月5日で、すべての調査区で70%以上となっており、道路のり面の緑化としては十分合格していた。

各調査区について植物ごとの植被率を図-4a.に、草丈を図-4b.に示す。CRF、KBG、HF、MF、CF、TFの各植物のみを播種した調査区では、施工4か月後の9月下旬の植被率はほぼ100%であった。KBG HF MFとHF MF CFの混播ではHFがほとんど生育しなかった。KBG MF CFではCFがほとんど生育しなかった。組み合わせによっ



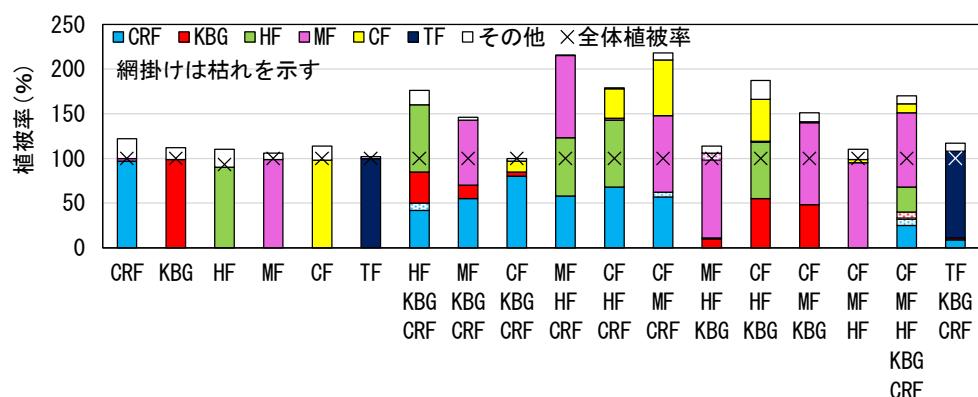
a.播種植とその他植物の植被率の変化



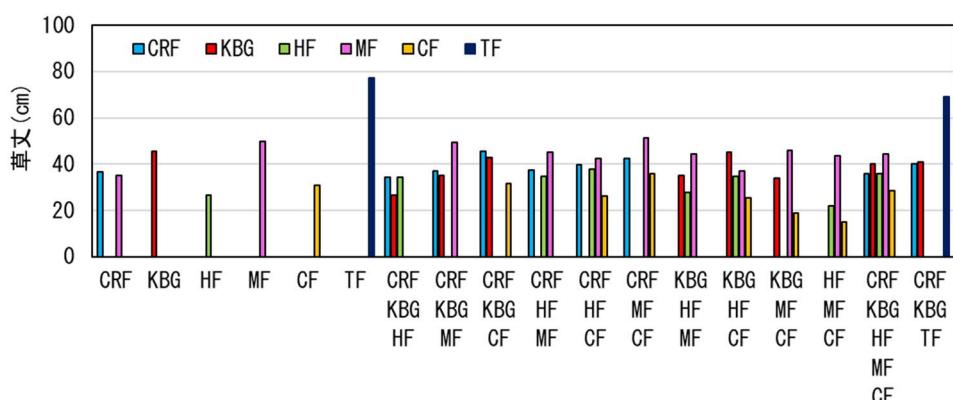
観測日(月/日) 播種植物の種類

b.単播の草丈の変化

図-3 植物の生育状況



a.草種ごとの植被率



b.草種ごとの草丈

図-4 各調査区の草種ごとの植被率と草丈

ては生育しづらくなる植物がある可能性がある。全体植被率について、HFの単播の調査区は93%であったが、これ以外の調査区では100%であり、どの配合でも緑化として十分な植被率であった。

混播したときに植被率の割合がほぼ同じくらいであることが望ましいと考えると、CRF KBG HF、CRF KBG MF、CRF HF MF、CRF HF CF、CRF MF CF、KBG HF CFの組み合わせでは混播した植物の植被率はほぼ同じであり、これらの組み合わせは良好と判断できる。CRF KBG CF、CRF KBG HF MF CFでは播種した植物は発生したが、植被率がかなり低い植物もあった。KBG HF MF、KBG MF CF、HF MF CF、CRF KBG TFではほとんど発生しない植物があった。MFは混合したところで必ず発生し、CF、HFは7配合の調査区のうち5調査区で発生した。なお、HF、MF、CFの配合は分けつ型のみの配合であるが、全体植被率100%を達成していた。TFを混合した調査区では、混播した他の2種類の植物の植被率が小さくなかった。

なお、混播した調査区の草丈は単播の草丈とほぼ同じであり、種子を混播することにより草丈への影響はないと考えられる。

(2) 持続性の評価

腐植酸種子散布、客土吹きつけの時間経過と植物ごとの植被率を図-5a.、b.に示す。この図から各配合における植物の生育状況を表-4にまとめた。3年間の生育状況としてCRF KBG MF、CRF KBG HF MF CF以外は腐植酸吹きつけが客土吹きつけよりも生育が良好であった。同じ条件では、植物が生育できる土砂を含んでいる客土吹きつけが腐植酸散布よりも植物の生育が良好と考えられるが、R5年のように施工後の雨量が少ない場合では、そのような結果とならなかった。これは、客土吹きつけでは、施工時に比較的水分を保有していたため、播種した植物が発芽したが、施工後降雨がないと吹きつけた土壤が乾燥し、発芽した植物が生育できず枯死したものと考えられる。これに対し腐植酸散布は、吹きつけた材料に水分がほとんどないため、施工後降雨がないときは発芽せず、十分な降雨の後生育環境が整ったときに発芽し、その後枯死することなく生育できたものと考えられる。気象条件によっては植物の生育に、より適していると考えられる客土吹きつけよりも腐植酸種子散布が良好な生育状態となる場合がある。

混播の状況について、持続性の調査では、植物ごとの植被率の割合がほぼ同じくらいであった調査区はなかった。R5年は平面での施工および厳しい気象条件のため、一般的な施工とは異なる条件であったと考えられる。施工後に生育が確認されない植物や発生数が少ない植物は、その後も同程度の植被率で推移した。ほとんどの調査区で、播種した植物よりも発生した植物の種類が少なかった。

時間経過と生育状況については、すべての調査区で時間の経過とともに植被率が変化しないか増加しており、それぞれの植物で3年間の持続性が確認された。

以上より、これまで使用した植物および新たに検討した植物について継続性が確認された。

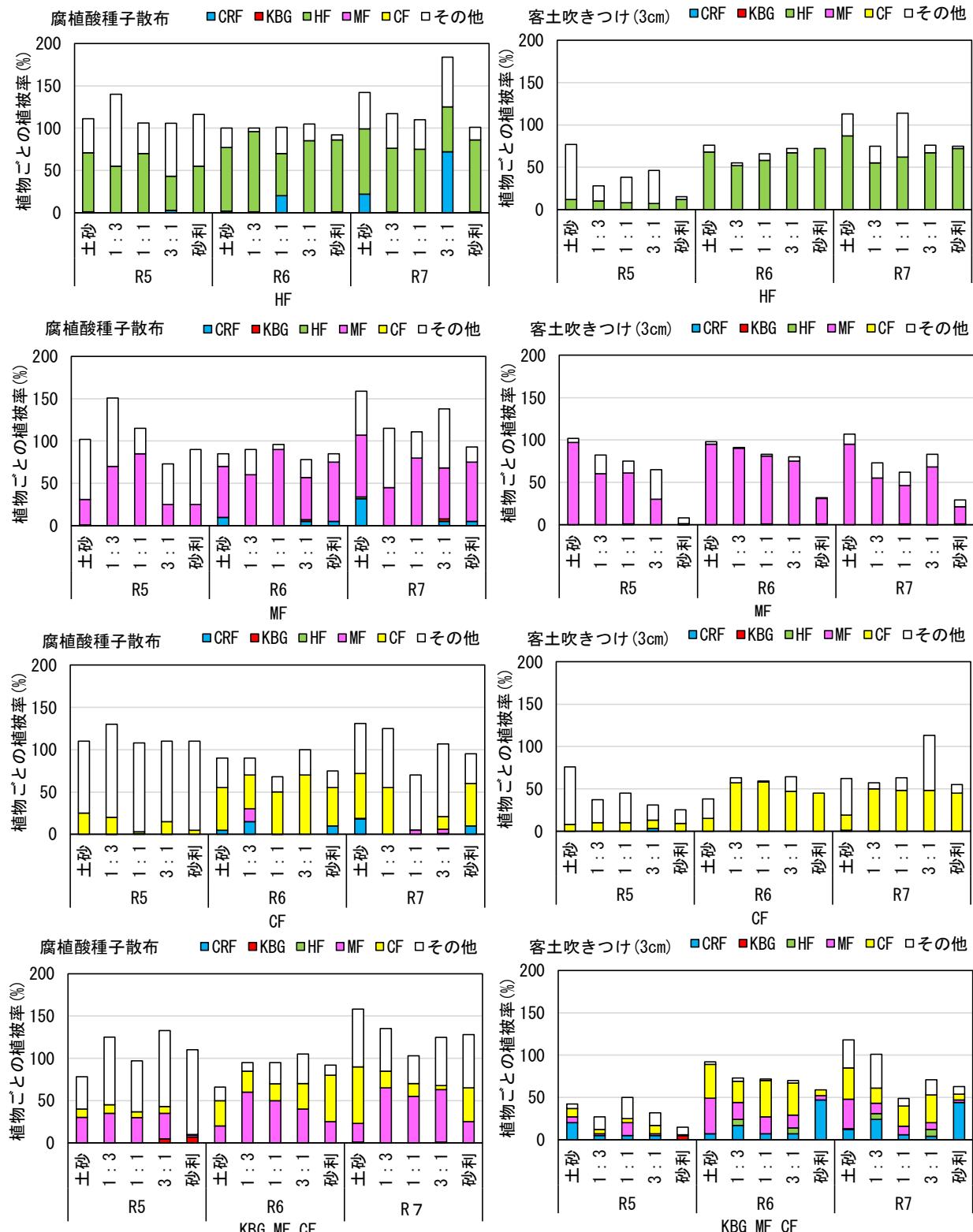


図-5a. 種子散布、客土吹きつけの時間経過と植物ごとの植被率
(HF、MF、CF、KGB MF CF)

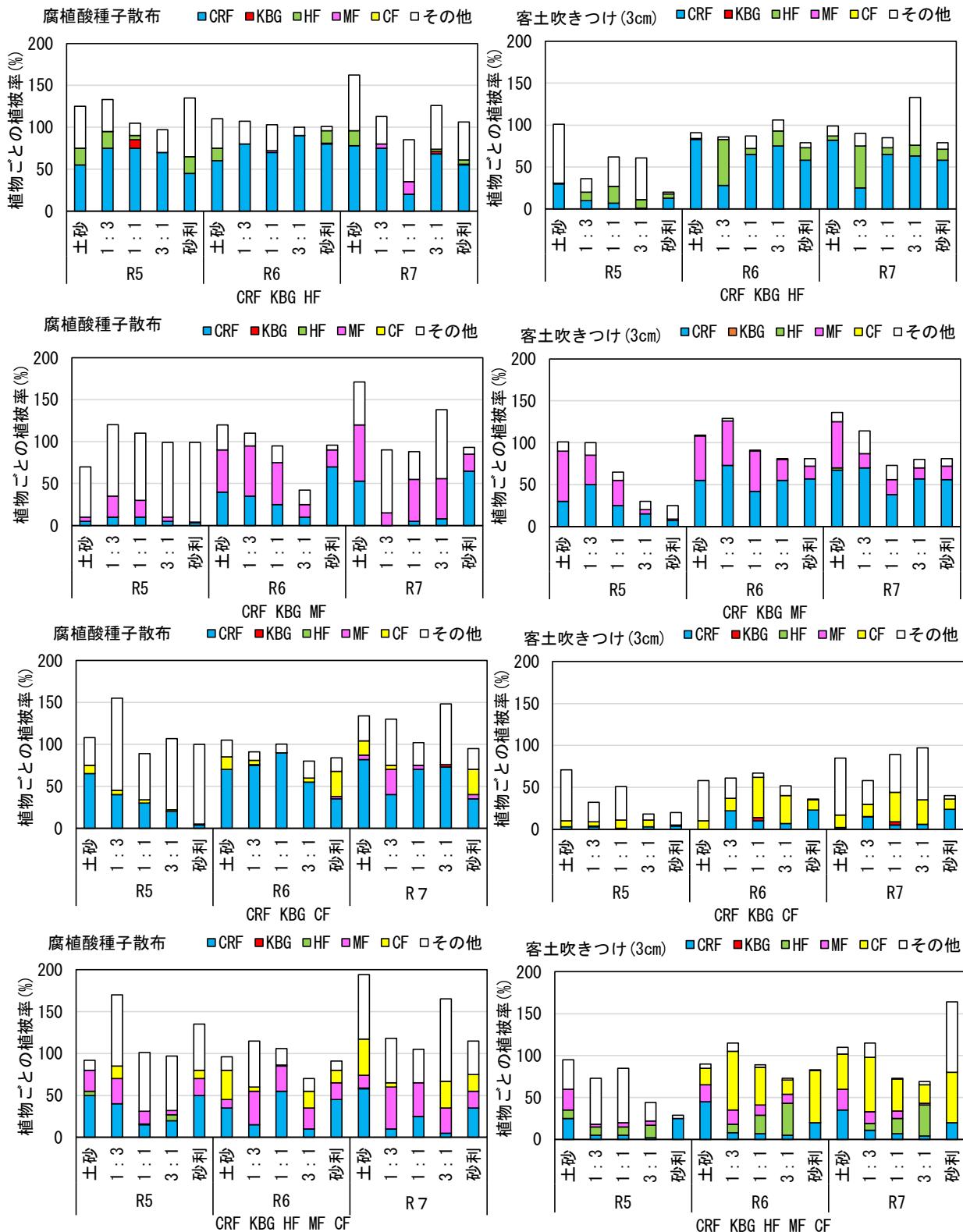


図-5b. 種子散布、客土吹きつけの時間経過と植物ごとの植被率

(CRF KBG HF、CRF KBG MF、CRF KBG CF、CRF KBG HF MF CF)

表-4 各配合における植物の生育状況

配合	生育状況の比較		混播の状況		時間経過と生育状況	
	腐植酸種子散布	客土吹きつけ	腐植酸種子散布	客土吹きつけ	腐植酸種子散布	客土吹きつけ
HF	○		-	-	○	○
MF	○		-	-	○	△
CF	○		-	-	○	○
KBG MF CF	○		2	2	○	○
CRF KBG HF	○		2	2	△	○
CRF KBG MF		○	2	2	○	○
CRF KBG CF	○		2-3	2-3	○	○
CRF KBG HF MF CF		○	3	4	○	○

生育状況の比較：植被率高い方○

混播の程度：混播した植物に対して発生した種類

時間経過と生育状況：時間の経過とともに植被率増加○、変化無し△、低下×

(3) わらむしろの効果

土壤の含水比を図-6に示す。わらむしろ直下の含水比は、地表面や深さ10cmの含水比よりも高く、わらむしろにより土壤水分が保持されていることが明らかになった。R7年のり面の植物は、すべての調査区で、生育が良好であり、わらむしろによる水分保持が植物の生育に寄与したと考えられる。わらむしろのない箇所で播種を行っていないが、2023年の施工³⁾では乾燥の影響による生育不良があったことから、わらむしろによる土壤水分の保持が植物の生育を良好にしたと推察される。

4.まとめ

北海道のような寒冷地に適した種子を選定するために、新たにMFとCFを配合した試験施工を行った。その結果、限られた場所の施工例ではあるが次のことがわかった。

- ① CRF、KBG、HF、MF、CF、TFの植物は単播でも十分緑化できた。組み合わせによっては生育しづらくなる植物がある可能性がある。
- ② 今回の調査では、CRF KBG HF、CRF KBG MF、CRF HF MF、CRF HF CF、CRF MF CF、KBG HF CF CRF KBG HF、CRF HF MF、CRF MF CF、CRF HF CF、KBG HF CF の組み合わせで、混播した植物の植被率がほぼ同じであり、これらの組み合わせが混播に適していると考えられる。なお、いずれの組み合わせでも全体植被率は93%以上であり、緑化として十分な植被率であった。
- ③ 3年間の植物の生育調査では、MFとCFを混播した調査区で、植被率が時間の経過とともに大きくなっていることから、MFとCFを混合した配合の持続性が確認できた。この結果からMFとCFは寒冷地に適した植物であるといえる。

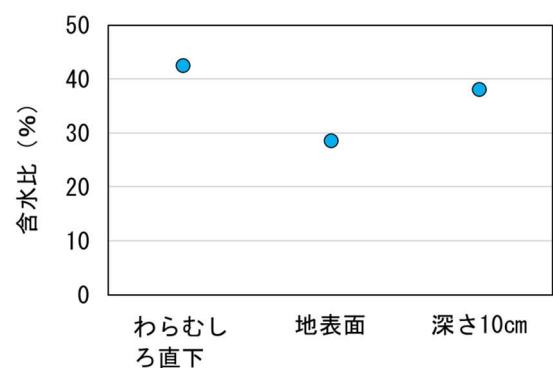


図-6 土壤の含水比

謝辞

本検討を進めるにあたって、R5 年では、北海道造園緑化建設業協会より施工に関する種子の配合、種子の提供、現場施工のご協力、R5、R6 年では、植生調査に関するアドバイスのご協力をいただきました。ここに記して深謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）、pp.234-239、2009.
- 2) 日本道路協会：道路土工切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）、p.232、2009.
- 3) 佐藤厚子、山木正彦：積雪寒冷地に適した緑化植物の検討、第 68 回(2024 年度) 北海道開発技術研究発表会、2025.
- 4) 大澤寛之、山田政雄、吉田高樹、平田真二、橋本純：堤防植生と植生基盤土質の関係について、河川技術論文集、第 23 卷、2017.
- 5) 日本道路協会：道路土工切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）、p.258、2009.

社会基盤の強靭化に貢献するテラグリッド補強土工法－安全性・施工性の優位性と実施工例－

岡三リビック株式会社 仁義 空心^{*1}

岡三リビック株式会社 木村 壮一^{*2}

東京インキ株式会社 新目 陽平^{*3}

1. はじめに

我が国のインフラ構造物は高度経済成長期に集中的に整備されて以来、50年以上が経過し、多くが老朽化的課題を抱えている。加えて、近年は気候変動に伴う豪雨災害の頻発、地震リスクの顕在化、さらには積雪寒冷地に特有の凍上・融雪作用が社会基盤に深刻な影響を与えている。特に積雪寒冷地では、冬期に施工が制約されることや、凍結融解サイクルによる盛土変形、排水不良による土圧増大が課題となり、従来の重力式擁壁やRC擁壁では対応が困難な場面も多い。このような背景を踏まえ、ここでは、テラグリッド補強土工法研究会が開発し、普及に取り組むテラグリッド補強土工法を紹介する。本工法の安全性および施工性の優位性を示すとともに、社会基盤の強靭化に貢献する実施工例を紹介する。

2. テラグリッド補強土工法の概要

テラグリッド補強土工法は、壁面に樹脂製のジオセル「グランドセル」を用い、補強材にジオテキスタイル「トリグリッド」を用いて盛土を補強し、内的・外的安定性を確保する補強土工法である。テラグリッド補強土工法の概要図を図-1に示す。テラグリッド補強土工法は、壁面材に鋼製枠を用いる従来のジオテキスタイル補強土工法と違い、樹脂製のジオセルを壁面材に用いることで、確実な締固め性能を実現し、塩害や酸性土壌、凍上といった環境リスクに対する耐久性を飛躍的に向上させている。

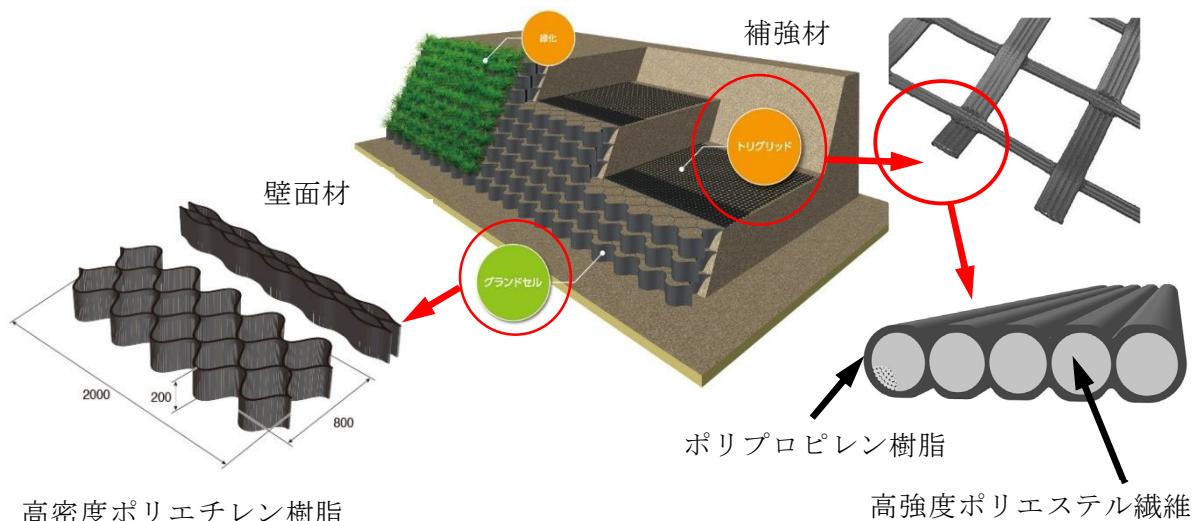


図-1 テラグリッド補強土工法の概要図

*1 Kushin Jingi 札幌市中央区北1条東2丁目5-8 • TEL 011-222-3351 • FAX 011-222-3929

*2 Soichi Kimura 札幌市中央区北1条東2丁目5-8 • TEL 011-222-3351 • FAX 011-222-3929

*3 Yohei Aratame 札幌市東区北20条東18丁目2-1 • TEL 011-784-7772 • FAX 011-784-7773

(1) 壁面材「グランドセル」

グランドセルは、高密度ポリエチレン（HDPE）製の帯状シートを千鳥状に熱溶着した製品である。現場で展開することで、複数のセルが連なるハニカム（蜂の巣状）の立体構造を形成する。このグランドセルは、高さ 200mm、長さ 2000mm、幅 800mm を標準とし、納入時には幅がコンパクトに折りたたまれている。現場で展開後、グランドセル内に現地発生土や碎石などの中詰材を充填し、セットバック量を調整しながら階段状に積み上げることで、所定の勾配を持つ補強土の壁面を構築する。グランドセルは、単独で切土法面や路盤の補強材としても使用されている。グランドセルの特性を表-1 に示す。

表-1 グランドセルの特性

項目	内容
対応勾配	1:0.3～1.0
表面シート色	黒
材質	高密度ポリエチレン樹脂
シート厚（正面）	1.3mm
セル高	200mm
セル数	5 セル×2 セル
展開後寸法	2000mm×800mm
標準面積	0.4 m ² /枚
重量	約 3kg/枚

(2) 補強材「トリグリッド」

トリグリッドは、高強度ポリエステル（PET）繊維を束ねたものを芯材とし、ポリプロピレン（PP）樹脂を被覆材として複合させ、格子構造にしたジオテキスタイルである。設計・施工マニュアル¹⁾に示された、ジオテキスタイルと土の特性評価試験を実施し、その優れた品質は、引張強度試験、クリープ試験、耐衝撃性試験、耐久性試験などの技術審査を受けた、一般財団法人土木研究センターの建設技術審査証明（土木系材料・製品・技術、道路保全技術）²⁾により証明されている。トリグリッドは、補強盛土工や補強土壁工の補強材として使用されている。トリグリッドの特性を表-2 に示す。

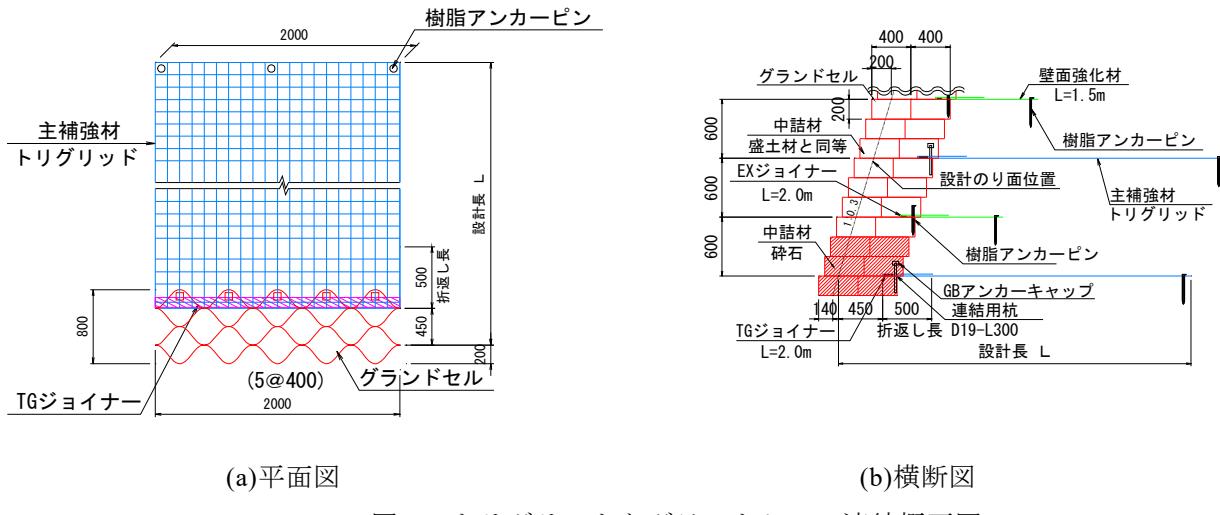
表-2 トリグリッドの特性

項目	内容
材質	芯材
	被覆材
目合	40mm×40mm
製品幅	2m
巻長	50m
型種類数	強度別に 5 種類
品質管理強度	42kN/m-154kN/m
製品基準強度	38kN/m-144kN/m
クリープ限度強度	24.7kN/m-93.6kN/m
ロール重量	35kg-65kg

(3) 「グランドセル」と「トリグリッド」の連結

グランドセルとトリグリッドの連結状態を図-2(a)(b)に示す。トリグリッドで巻き込んだ樹脂製の平板（TG ジョイナー）の盛土側の辺に接するように、剛性の高い連結用杭（D19-L300）を設置する。連結用杭の上端には樹脂製のキャップ（GB アンカーキャップ）を設置する。これにより、トリグリッドに作用する引張力は平板（TG ジョイナー）を介して連結用杭に伝達される。さらに連結用杭の下端と上端のキャップがグランドセルの内側に接することで、この引張力に抵抗する構造となっている。

壁面材は、背面の盛土材料の崩落・抜け出しを防ぐとともに、ジオテキスタイルと連結することにより、一体となって盛土材料を拘束し、補強効果を發揮する重要な役割を果たしている。このため、ジオテキスタイルを用いた補強盛土・補強土壁等に用いられる壁面工は、壁面材としての性能を満たすものでなければならない。溶接金網やエキスパンドメタルなどの格子状の鋼製枠材を使用した鋼製枠形式（以下、鋼製枠と称す）の壁面工の採用事例が多い中、設計・施工マニュアル¹⁾には、L型擁壁を使用した壁面工やセル状壁面工も紹介されており、テラグリッド補強土工法は、セル状壁面工に分類される壁面材を有する補強土工法となる。



(4) 特長「テラグリッド工法の5つのメリット」

積雪寒冷地に構築する補強土では、盛土材が凍上すると、その力によって壁面材やそれらをつなぐ連結部が損傷する危険性がある。そのため、現在では設計要領^{3) 4)} や設計・施工マニュアル¹⁾において、壁面材の背後に切込砂利や切込碎石等による凍上抑制（フィルター）層や断熱材を設置することが規定されている。しかし、このような凍上対策を施した場合、鋼製枠を壁面材とした緑化前提の補強土であっても、壁面の緑化が困難になる問題を生じる。そこで、これらの問題を解決することを目的の一つとして、テラグリッド補強土工法が開発された。施工実績を積み重ねるなかで、テラグリッド補強土工法には当初の目的解決に加え、さまざまな付随的なメリットも確認してきた。以下では、テラグリッド補強土工法の構造性について、従来工法と比較しながら主要な5つのメリットを紹介する。

1) 壁面裏の転圧が容易で、確実な締固め度を確保

従来工法である鋼製枠では、壁面裏部の狭隘空間における締固め作業が不十分となりやすく、盛土の締固め度のばらつきが変状の要因となる場合があった。テラグリッド補強土工法では、壁面材が小型・分割構造のグランドセルであり、転圧機械の接近が容易であるため、壁面近傍まで十分な締固めが可能となる。この結果、壁面部の沈下差が小さく、変位抑制効果が高い。

グランドセルと鋼製枠の壁面材付近で締固め方法の違いによる影響を比較した⁵⁾。山砂を最適含水比付近に調整し、グランドセルは200mm厚、鋼製枠は100mm厚で転圧を実施した。ハンドガイドローラー、プレートコンパクタ、人力踏み固めの3方法で施工し、壁面材から50mm、300mm、550mmの位置でRI試験により締固め度を測定した。その結果、ハンドガイドローラーを用いたグランドセルでは全測定点で締固め度95%を満足した。試験の状況を表-3に、結果を図-3に示す。

表-3 壁面材にグランドセルと鋼製枠を用いた場合の締固め方法の比較

表3-1 壁面材、グランドセル、鋼製枠を用いた揚土・締固め方法の比較			
壁面材の種類	グランドセル	鋼製枠	鋼製枠
締固め方法	ハンドガイドローラー	プレートコンパクタ	人力
			

図-3 より、グランドセルを用いたハンドガイドローラーによる締固めでは、締固め度のばらつきが小さくなる傾向がみられ、短時間で確実に所定の締固め度を確保できる。

2) 軽量・コンパクトで施工性に優れる

壁面材の重量について表-4に比較を示す。グランドセルは、従来の鋼製枠と比較して約40%の軽量化を実現している。軽量でコンパクトな部材は、人力での運搬・設置が可能であり、重機の進入が制限される狭隘現場や急傾斜地でも施工が容易である。これにより、施工時の安全性と工程の短縮が図られ、全体の経済性にも寄与している。

3) 耐塩害性能に優れる

壁面材の外観について表-5に比較を示す。テラグリッド補強土工法では、表面に金属材料が露出していないため、塩害や腐食による性能劣化の懸念がない。特に海岸沿いや融雪剤を多用する地域では、鋼材の腐食が構造物の早期劣化を招く事例が報告されているが、本工法は高分子系材料による防錆構造であり、長期耐久性に優れている。グランドセルはカーボンブラックを配合し紫外線劣化防止効果がある。

4) 耐凍害性能に優れる

寒冷地では、盛土材の凍結・融解の繰り返しにより、壁面材が前方へ押し出される変形が生じることがある。図-4は寒冷地に構築された補強土壁の凍結融解挙動の結果を示している⁶⁾。壁面材が鋼製枠の鉛直変位が最大80mmであるのに対し、グランドセルの鉛直変位は最大60mmにとどまり、グランドセルの方は変位量が小さいことがわかる。これは、テラグリッド補強土工法において、壁面近傍の盛土材がグランドセルにより円形に拘束されるため、凍結時の体積膨張が分散され、局所的な変形の累積を抑制するためである。この構造的な拘束効果により、凍上作用を受けにくい安定した補強土構造を実現している。

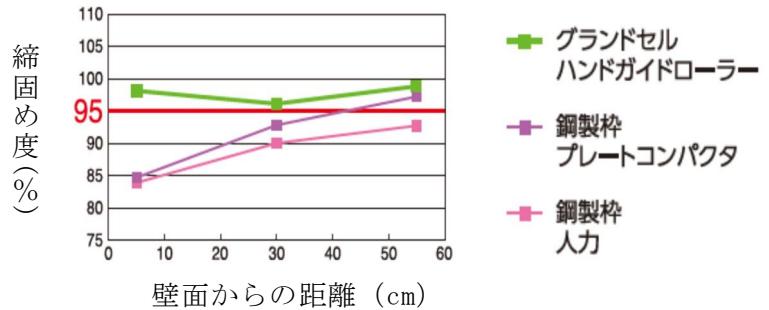


図-3 RI 試験による締固め度試験結果

表-4 壁面材重量の比較

壁面材	グランドセル	鋼製枠
壁面積 1枚当たり	0.4 m ² /枚	1.2 m ² /枚
重量 1枚当たり	3.0kg/枚	15.0kg/枚
重量 1 m ² 当たり	7.5kg/m ²	12.5kg/m ²

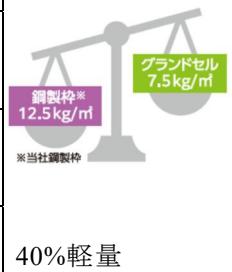


表-5 外観の比較

壁面材	グランドセル	鋼製枠
状況		
	金属露出なし	金属露出

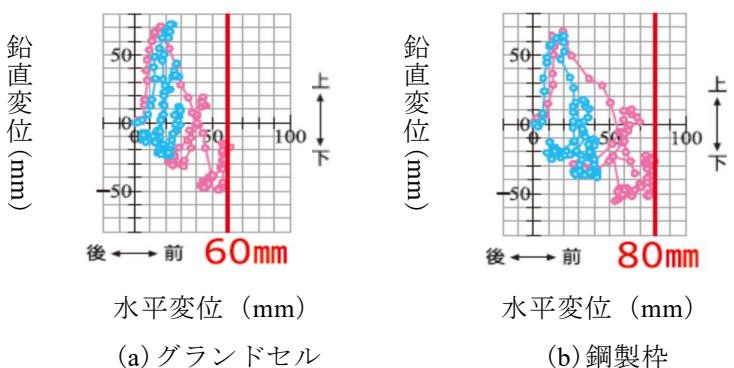


図-4 壁面工の挙動計測結果

5) 壁面緑化が可能で景観に配慮

テラグリッド補強土工法の壁面は、グランドセル内に現場発生土を充填し、その上部に植生を導入することで、自然な景観と環境調和を両立できる。また、グランドセルの上面が平坦であるため、種子が流失しにくく活着率が高い。この特性により、のり面保護と景観形成を同時に実現し、地域環境との調和が求められる公共インフラ整備にも適している。

(5) 施工性の優位性

テラグリッド補強土工法は、主要な構成部材の特性とその構造に基づき、壁面近傍の確実な品質確保、制約の多い現場での施工性の高さ、および敷設作業の圧倒的な効率化という、多面的かつ具体的な施工性の優位性を有している。そこで、従来の鋼製枠の補強土工法と比較して、特に際立つ施工性の優位性について示す。

1) 締固め性能の向上による品質と施工性の両立

テラグリッド補強土工法は、壁面材の小型・分割構造により、従来の鋼製枠の補強土では困難であった壁面裏側での十分な締固め作業を可能とする。前述した(4)特長1)に示すように、鋼製枠の補強土では、壁面裏の締固めはプレートコンパクタや人力等に依存せざるを得ないのに対し、テラグリッド補強土工法はハンドガイドローラーの壁面への近接が容易となり、より確実に締固めが可能となる。また、所定の締固め度を確実に確保するため、鋼製枠の補強土では盛土の1層厚を100mmとするのが一般的であるのに対し、グランドセルは1枚当たりの高さは200mmであり、その構造特性から、締固めた中詰材を拘束して強度を確保することから、テラグリッド補強土工法では1層200mmでの施工が可能となる。これにより、同一高さの盛土を構築する際の締固め回数を大幅に削減でき、施工時間の短縮に大きく貢献する。さらに、図-3が示すように、鋼製枠を用いた場合に所定の締固め度を確保するためには、テラグリッド補強土工法よりも入念な締固めが必要となる。これは、テラグリッド補強土工法が、従来の鋼製枠と比べて、1枚当たりの締固め厚さを厚く設定しながらも所定の締固め度を確保しやすい特徴があることを意味し、これが施工性の優位性を構成する重要な要素となっている。

2) 部材の軽量化・コンパクト化による作業効率の向上

前述した(4)特長2)に示すように、テラグリッド補強土工法の壁面材であるグランドセルは、従来の鋼製枠と比較して1m²あたり約40%の軽量化を実現している。この軽量でコンパクトな部材特性は、施工環境に制約がある場所でも容易に作業を進めることができるとなる。特に車両の進入が制限される狭隘な現場や急傾斜地で顕著な優位性を示す。例えば災害復旧の現場においては、道路が寸断されたその先に部材の運搬が必要となる場合があり、テラグリッド補強土工法の採用は、作業員の運搬作業の負担軽減と、それに伴う工期短縮に直結する。

3) 補強材の広幅化による敷設作業の効率化

テラグリッド補強土工法で使用される補強材のトリグリッドは、その製品幅においても他社製品に対する施工上の優位性を持つ。一般に流通する同一規格のジオテキスタイルの製品幅が主に1.0mや1.2mであるのに対し、トリグリッドの製品幅は2.0mと広幅である。この広幅の採用により、盛土面上に補強材を敷設する回数が大幅に軽減される。具体的には、1.0m幅の製品と比較して50%, 1.2m幅の製品と比較して40%の敷設作業の手間を軽減することが可能となり、これは現場における工期短縮と省人化に大きく寄与する。

国土交通省土木工事積算基準⁷⁾における施工パッケージ型積算では、ジオテキスタイル敷設費に製品幅が考

慮されていない。しかし、実際の施工では広幅製品を用いることで敷設作業の効率化と経済性向上に寄与している。

3. 施工手順

テラグリッド補強土工法の施工は、設計・施工マニュアル¹⁾に示される留意事項や事前調査等に従って、設計で定めた諸条件を満足するように施工を行う必要がある。事前に定めた各施工過程における施工管理および品質管理は、定められた手順に従って行うものとする。

施工フローを図-5に示す。テラグリッド補強土工法を計画する基礎地盤を整地した後、1段目のグランドセルを設計位置に展開する。グランドセルは、延長方向に連結材を用いて相互に連結する。ここから、計画高さになるまで以下のサイクルを繰り返す。①展開したグランドセル内に中詰材を投入し十分に締固める。②グランドセルの天端高さと同一レベルで背面の盛土部に盛土材を敷均し、既定の締固め度で転圧する。トリグリッドの敷設高さまでグランドセルを設置して盛土が完了した後、③締固められた盛土上にトリグリッドを設計長さに合わせて敷設する。この際、壁面側のトリグリッドの先端は、接続材（連結用杭・GBアンカーキャップ・ジョイナー等）を用いてグランドセルと接続し、反対側の端部はアンカーピン等を用いて盛土に固定する。④トリグリッド上に次段のグランドセルを展開する。施工の途中で必要な位置に排水工などを設けながら、この①から④のサイクルを繰り返し、計画高さに到達した段階で天端を仕上げ、施工を完了する。

図-6に施工手順動画のQRコードを、図-7に施工状況を示す。



図-6 テラグリッド補強土工法施工手順動画(youtube動画)

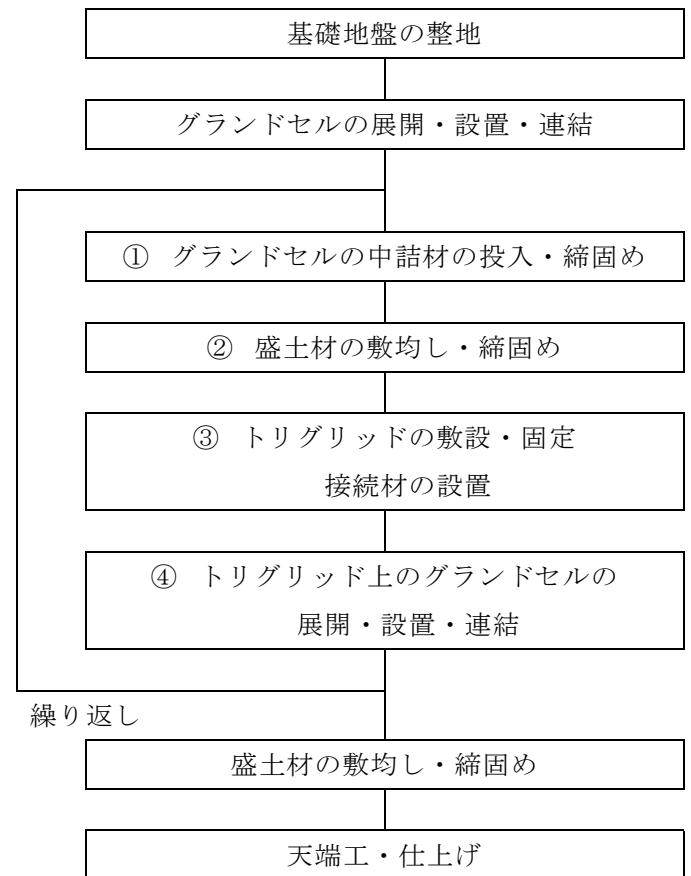


図-5 テラグリッド補強土工法施工フロー

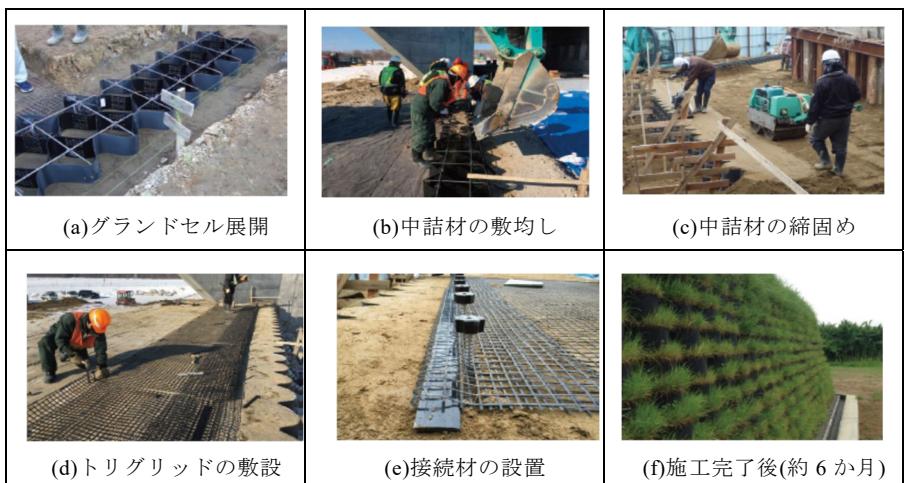


図-7 テラグリッド補強土工法施工状況

4. 施工事例

(1) 北海道（BOX 周り）

道東自動車道は、札幌圏と道東を結ぶ重要な幹線道路であり、その全線開通の意義は極めて大きい。開通により、物流の効率化、観光振興への貢献に加え、災害時の代替路確保や救急搬送時間の短縮など、地域社会の防災・医療機能の強化に多大な効果をもたらす。図-8はこの道東自動車道の整備において、従来のコンクリート擁壁工法から、テラグリッド補強土工法への変更が適用された事例である。本工法への変更は、工期の短縮、耐震性・変形追従性の向上などを目的として実施された。

特に北海道の厳しい気象条件や地盤条件、そして地震リスクを考慮すると、柔軟な構造であるテラグリッド補強土工法の採用は、長期的な維持管理の観点からもメリットが大きいと判断された。テラグリッド補強土工法は、現場で発生する掘削土の有効活用を可能にし、環境負荷の低減にも貢献する。道東自動車道での施工事例は、大規模なインフラ整備における新たな技術の適用と、社会資本の質向上を目指す好例と言える。

(2) 北海道（温泉地域）

図-9は北海道ニセコ地区を通る道道の整備において、厳しい条件下での、迅速な施工と高い耐久性を実現している事例である。この地域は、国際的なスキーリゾートとして有名な観光名所であり、道路の確保は観光客の利便性向上や地域経済への貢献に直結する。しかし、豪雪地帯であるため、工事には冬期の道路閉鎖前に完了させるという非常にタイトな工期が課せられていた。テラグリッド補強土工法は、特殊な型枠が不要で、盛土と補強材の敷設を繰り返す単純な構造であるため、現場での作業が効率化され、限られた期間内で早期に完工した。さらに、ニセコ地区には温泉地域が多く、補強土には冬期の融雪剤や温泉成分による塩害、そして極寒による凍害への対策が不可欠であった。テラグリッド補強土工法に使用する壁面材は、金属が露出しない耐食性に優れた高密度ポリエチレン樹脂で製造されているため、耐塩害性能と耐寒性能に優れ、観光客の往来を支えるインフラの長期的な安定性を確保している。この施工事例は、テラグリッド補強土工法が、厳しい工期と特殊な環境条件（温泉地、極寒地）という複合的な課題を克服し、地域の重要な観光インフラの早期確保と高い耐久性の両立に貢献した好例と言える。

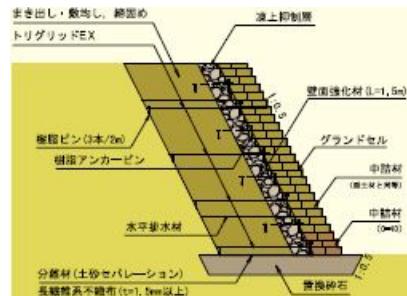


図-8 北海道（BOX 周り）の施工事例

表-6 物件概要

勾配	1:0.5
最大壁高	5.0m
補強材長さ	3.0m

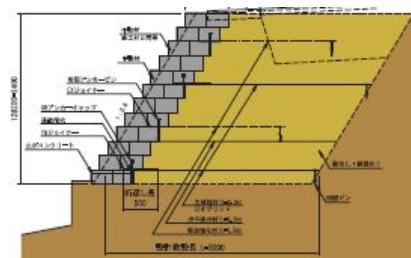


図-9 北海道（温泉地域）の施工事例

表-7 物件概要

勾配	1:0.6
最大壁高	2.4m
補強材長さ	3.0m

(3) 青森県（海岸沿い）

図-10 は青森県の海岸線に近接する箇所で施工された事例である。この地域は、海岸線付近特有の潮風による強い塩害環境にさらされており、これらの環境に耐えうる補強土として、従来の鋼製枠の壁面材と比較した結果、塩害の影響をほとんど受けず、長期にわたり安定した構造を維持できる点が着目され採用された。また、施工現場が JR 線に近接していたため、施工の安全性確保が最重要課題であった。テラグリッド補強土工法は、大型重機や特殊な型枠が不要であり、第三者への影響を最小限に抑えながら、安全かつ効率的に作業を進めることができた。さらに、テラグリッド補強土工法に用いる資材は軽量であるため、運搬や敷設時の作業員の負荷が大幅に軽減され、特に狭い現場や厳しい環境下での作業効率向上と安全性の向上に大きく貢献できた。この事例は、テラグリッド補強土工法が、厳しい自然環境（塩害）と特殊な施工条件（近接施工、作業負担軽減）の両方を解決できた好例と言える。

(4) 兵庫県（災害復旧）

図-11 は兵庫県内の太陽光発電所において、豪雨により敷地内ののり面が崩壊した。この崩壊箇所の復旧工事において施工された事例である。民間事業者が所有する敷地の復旧であることから、事業者からは経済性に加え維持管理の容易さに優れる工法による復旧が強く要望された。しかし、現場はコンクリート二次製品などの大型資材を搬入するための小運搬ルートの確保が困難であることが判明した。この制約を受け、テラグリッド補強土工法は、現場で発生した土砂を有効活用できる盛土構造であり、壁面材と補強材は軽量であるため、特殊な大型資材の搬入ルートを必要としないことから第一候補として注目された。さらに、一般公表されている価格が最も安価なトリグリッドを使用することで、従来の補強土工法と比較して大幅なコスト縮減が可能となり、経済性の要望に応えた。また、テラグリッド補強土工法は、高い変形追従性と耐震性を持ち、将来起こり得る豪雨や地震に対しての崩壊リスクを低減し、維持管理の負担を軽減する点も決め手となり、事業者も納得の上で採用され、施工に至った。この復旧事例は、厳しい施工制約（搬入ルートの確保）を解決しつつ、早期の機能回復と民間事業者が求める経済性・安全性・耐久性を同時に満たす最適な工法であることを示した事例である。

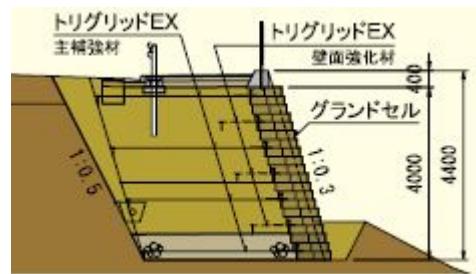


図-10 青森県（海岸沿い）の施工事例

表-8 物件概要

勾配	1:0.3
最大壁高	4.4m
補強材長さ	4.2m



(a) 施工前



(b) 施工後

図-11 兵庫県（災害復旧）の施工事例

表-9 物件概要

勾配	1:0.6
最大壁高	7.6m

(5) 石川県（景観対策）

図-12 は石川県の橋台を新設するための周辺一連の工事で施工された事例である。橋台脇において、盛土構造となる区間にテラグリッド補強土工法を施工し、切土区間にはテラセル擁壁を施工した点が特徴である。

橋台を施工する際に橋台の基礎となる底版高さまで地山を深く掘削する必要があったことから、掘削が広範囲に及ぶ橋台脇は盛土構造となった。この盛土の安定性を確保するために、テラグリッド補強土工法が施工された。一方、橋台を施工するための掘削が及ばない切土区間では補強土とする必要がないことから、土留め壁としてテラグリッドと同じくジオセルを用いたテラセル擁壁が施工された。この施工事例のポイントは、盛土部の壁面工と切土部の壁面工の両方に同じジオセル（グランドセル・テラセル）を壁面材として使用した点にある。これにより、構造的には「補強土壁」と「もたれ式擁壁」という工種の違いがあるにもかかわらず、擁壁の壁面は連続しているように見え、景観に統一性が生まれた。異なる構造を違和感なく景観に馴染ませるという現地に配慮した対策が実現した好例と言える。図-12(b)施工後の状況から、近接する河川護岸工はコンクリート護岸とかご工（じやかご）の2種類の工種で構成されており、工種の違いがはっきりと区別できる状況であるのに対して、本事例で施工されたテラグリッド補強土工法とテラセル擁壁のジオセル壁面が連続して一体化し、工種の違いがわかりにくい状況であることが確認できる。

5.まとめ

本報文では、「社会基盤の強靭化に貢献するテラグリッド補強土工法」と題し、その概要、特長、施工手順、そして具体的な実施工例を通じて、本工法の多面的な優位性を紹介した。

我が国が抱えるインフラの老朽化、気候変動による豪雨災害の頻発、地震リスクの増大といった複合的な課題に対し、従来の剛構造である重力式擁壁やRC擁壁だけでは限界があることが明らかになっている。特に積雪寒冷地特有の厳しい環境下では、早期の施工完了と長期的な安定性が強く求められる。

テラグリッド補強土工法は、壁面材に高耐久性のグランドセルを使用することで、耐塩害・耐凍害性能に優れ、積雪寒冷地や海岸線といった過酷な環境での長期安定性を確保する。また、補強土としての柔軟な構造は、高い変形追従性と耐震性を発揮し、地震や豪雨による地盤変状リスクを大幅に低減する。さらに、軽量な材料とシンプルな施工手順は、限られた工期内での迅速な施工完了と、作業員の負荷軽減・安全性向上に直結する。ニセコ地区や青森県の事例、また民間発電所の復旧事例からも、本工法が経済性、施工性、景観配慮、そして耐久性のすべてにおいて、発注者の多様なニーズに応える最適な補強土工法であると言える。

テラグリッド補強土工法は、今後のインフラの維持管理および新規整備において、安全性の向上と経済性の両立を実現し、持続可能な社会基盤の強靭化に不可欠な技術として、さらなる普及が期待される。

左側：テラグリッド補強土工法

右側：テラセル擁壁

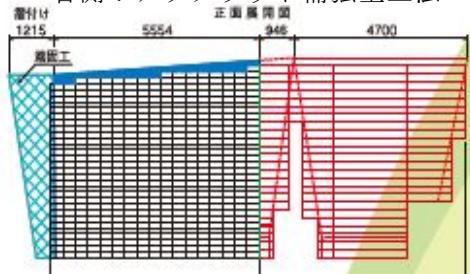


(a) R 側施工中

(b) R 側施工後

左側：テラセル擁壁

右側：テラグリッド補強土工法



(c) L 側展開図



(d) L 側施工後

図-12 石川県（景観対策）の施工事例

この施工事例のポイントは、盛土部の壁面工と切土部の壁面工の両方に同じジオセル（グランドセル・テラセル）を壁面材として使用した点にある。これにより、構造的には「補強土壁」と「もたれ式擁壁」という工種の違いがあるにもかかわらず、擁壁の壁面は連続しているように見え、景観に統一性が生まれた。異なる構造を違和感なく景観に馴染ませるという現地に配慮した対策が実現した好例と言える。図-12(b)施工後の状況から、近接する河川護岸工はコンクリート護岸とかご工（じやかご）の2種類の工種で構成されており、工種の違いがはっきりと区別できる状況であるのに対して、本事例で施工されたテラグリッド補強土工法とテラセル擁壁のジオセル壁面が連続して一体化し、工種の違いがわかりにくい状況であることが確認できる。

参考文献

- 1) 土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版 2013.12
- 2) 土木研究センター：建設技術審査証明事業（土木系材料・製品・技術，道路保全技術）建技審証第 0808 号
- 3) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版）,2009.
- 4) 北海道開発局：平成 30 年度北海道開発局道路設計要領
[,https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_ken/ud49g70000001jbe.html,2025.](https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_ken/ud49g70000001jbe.html)
- 5) 原田道幸, 林豪人：ジオセルを壁面材に用いた補強土工法の盛土材の締固め特性, 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.1669-1670,2018
- 6) 川口貴之, 中村大, 川尻峻三, 山下聰, 小林歩, 佐々木貴, 林豪人, 安達謙二, 雨宮盛児, 原田道幸：寒冷地に構築した補強土工法の凍結融解挙動, ジオシンセティックス論文集,2014
- 7) 建設物価調査会：国土交通省土木工事積算基準（令和 7 年度版）,2025

山留め式擁壁「親杭パネル壁工法」の適用事例について

日特建設株式会社

三浦 竜 池田 淳^{*1}

1. はじめに

近年、我が国では地震や台風、記録的な豪雨などの自然災害が頻発している。さらに、国土の約7割を山地が占めるという地形的特性から、山岳道路などが崩壊すると、大規模な斜面掘削を伴う長期の復旧工事を要し、路線が遮断されるなど、地域の生活や物流に深刻な影響を及ぼす。加えて、集中豪雨による河川の増水や洗掘により、河川沿いの道路が崩壊する事例も少なくない。

このように、自然災害に起因する道路被災は、単なるインフラの損傷にとどまらず、地域社会の機能維持や経済活動にも直結する重大な課題であり、被災時の早期復旧が重要視される。

こうした中、道路や敷地の拡幅工事で採用される山留め式擁壁工法である「親杭パネル壁工法」は、基礎部の掘削面積や切土範囲を最小限に抑えることができ、主要な部材が工場製作による二次製品で構成されるため、現場での施工効率が高く、道路被災の早期復旧が可能な工法である。

以下に本工法について、その概要と施工事例を紹介する。

2. 親杭パネル壁工法概要

親杭パネル壁工法は、H形鋼または鋼管などの親杭と、プレキャストコンクリートパネル（親杭パネル）を一体化した構造で、景観に配慮した土留め壁や遮音壁等に使用されている。特に、長大な切土法面や基礎掘削が多くなる急峻な地形での道路や敷地の拡幅工事等においては、切土や残土の発生を少なくできることから、自然環境の保護や省力化に役立つ工法である。

また、構造形式として自立式と控え工併用式があり、自立式親杭パネル壁は、作用荷重に対して主として親杭の曲げ剛性で抵抗する。一方、控え工併用式親杭パネル壁は、親杭と背面の地山や盛土内に設けたグラウンドアンカーあるいはタイロッドにより、荷重を分散して抵抗する形式である。

親杭パネル壁工法の構造を図-1、主な用途を図-2に示す。

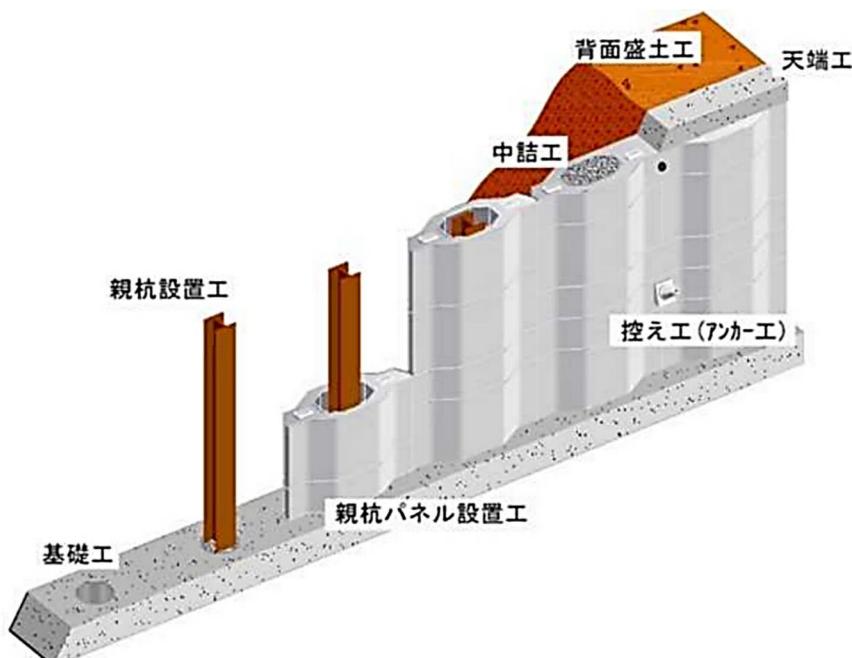


図-1 親杭パネル壁工法の構造

*1 Ryu Miura, Jun Ikeda 東京都中央区東日本橋3-10-6 · TEL 03-5645-5062 · FAX 03-5645-5066

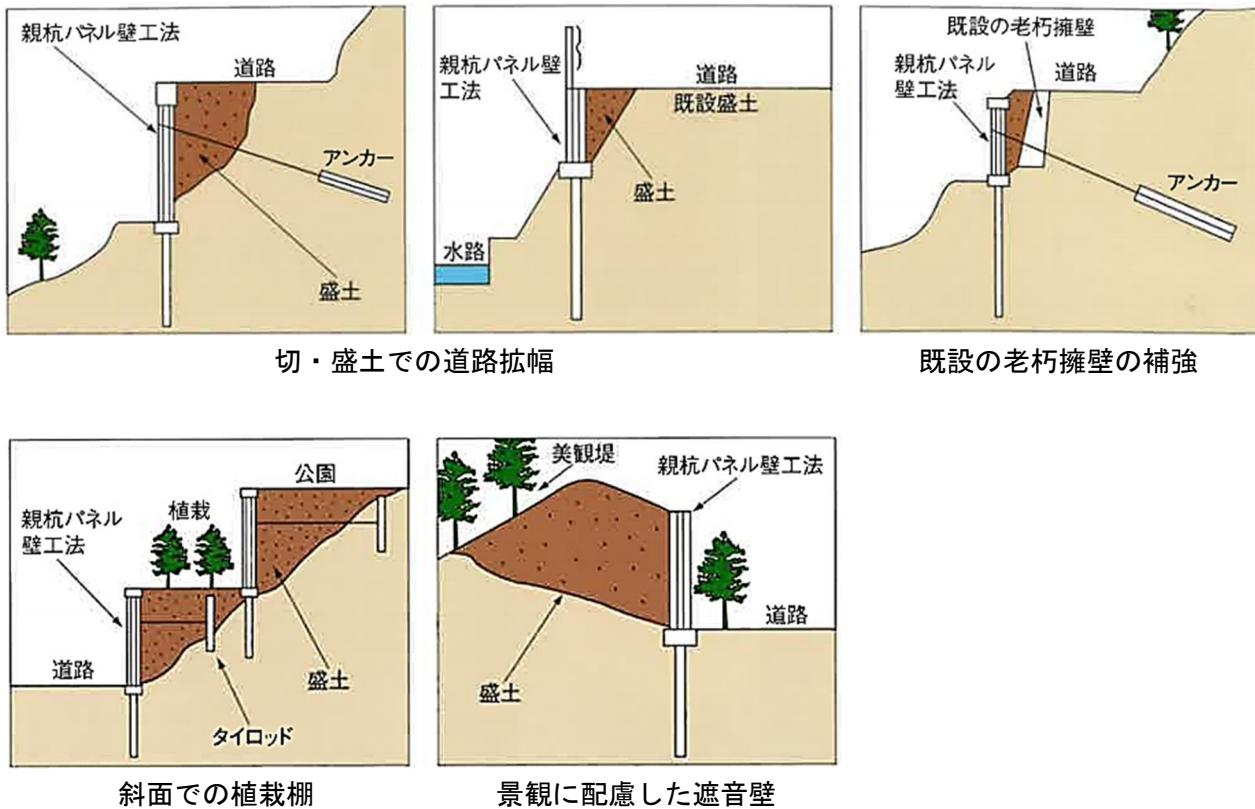


図-2 親杭パネル壁工法の主な用途（親杭パネル壁工法カタログより）

本工法は、山留め式擁壁として十分な強度を有しており、特殊な施工技術を必要とせず他工法との併用を行いうやすい工法で、次のような機能と特徴がある。

- ① 山留め式擁壁として十分な強度を有している。
- ② 親杭パネルはプレキャストコンクリート製品であり、壁面材ならびにアンカーの支持部材として、荷重（載荷重や土圧など）を保持する十分な構造、機能および耐力を有している。
- ③ 親杭（H形鋼または鋼管）は、根固めコンクリートおよび親杭パネルと中詰めコンクリートで被覆され、防食構造となる。
- ④ 特殊な施工技術を必要としない在来工法の組み合わせであり、施工が容易である。現場打ち擁壁と比較して作業工程の簡素化が図れ、早期の災害復旧に対応可能である。
- ⑤ 基礎の掘削面積や切土範囲を小さく設定できるため、大規模な掘削を必要とせず、長大な切土のり面の発生を抑制できる。
- ⑥ 現場条件に適した盛土材の選定が可能で、アンカー材や軽量盛土材を併用することにより、壁高を高くすることができる。
- ⑦ 背面の盛土材に発生残土や軽量盛土材を使用できる。
- ⑧ 親杭パネルの表面は滑らかなカーブ状であるため、壁高が高くなても圧迫感が少ない。
- ⑨ 親杭パネルは様々な表面仕上げが可能で、景観性を考慮した擁壁の計画に対応できる。

また、標準的な施工手順を図-3に示す。

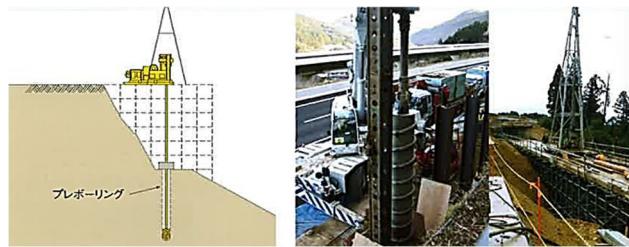
1. 切土工・基礎工

地山掘削、整地を行い親杭パネルが安定して据付けられるように基盤コンクリートを打設



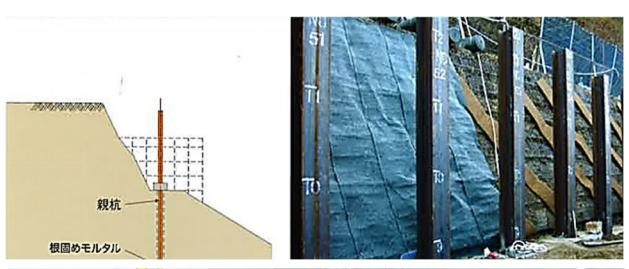
2. 杭工（削孔）

杭工（削孔）には、足場を使う大口径ボーリングマシン方式と足場不要の移動式クレーン方式あり



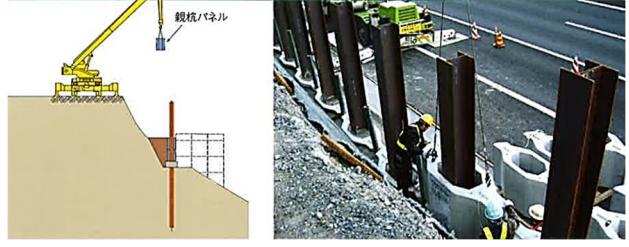
3. 杭工（建込み）

親杭の建込み・根固めモルタル注入



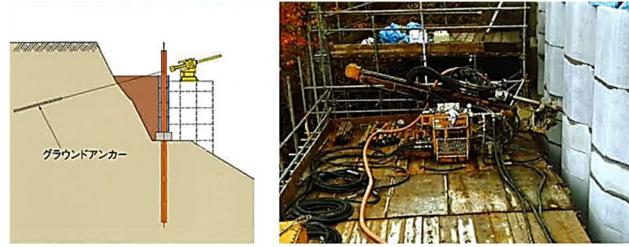
4. 親杭パネル設置・中詰め工

親杭パネル設置・中詰めモルタル打設・背面盛土・仮設解体



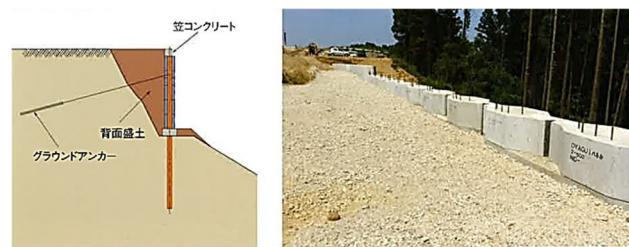
5. アンカー（タイロッド）工 (削孔・定着)

アンカーには、グラウンドアンカーエンジニアリング・タイロッド工を選択可能



6. 笠コンクリート・背面盛土工

背面盛土、アンカー緊張、笠コンクリート打設



7. 完成



図-3 親杭パネル壁工法の標準的施工手順

3. 親杭パネル壁工法の適用事例

以下に、親杭パネル壁工法による災害復旧の事例を2件紹介する。

3.1. 北海道胆振東部地震の災害復旧適用事例

2018年9月に発生した北海道胆振東部地震（図-4）は、北海道の胆振地方東部を震源とし、厚真町で最大震度7を観測した。その結果、震源地周辺で広範囲に大規模な斜面崩壊が発生した。厚真町幌内に建設された厚幌ダムは、厚真町のかんがい用水や水道用水の安定的な供給のため、平成26年にダム本体工事に着手し、平成30年に試験湛水を終了して供用を開始した。しかしながら、当該地震によって貯水池周囲において大規模な地すべりや斜面崩壊が発生し、大量の土砂や倒木がダム貯水池へ流入してダム機能を著しく低下させた。このため、流入した土砂や倒木を除去するとともに、地すべり対策や法面対策を講じる必要があった。しかし、被災箇所へアクセスする林道も斜面崩壊とともに崩落しており、まず林道の復旧工事が優先的に進められた。その復旧に際して、大規模な切土を必要とせず、プレキヤスト製品を使用した早期復旧が可能な親杭パネル壁工法が採用された（写真-1～3）。

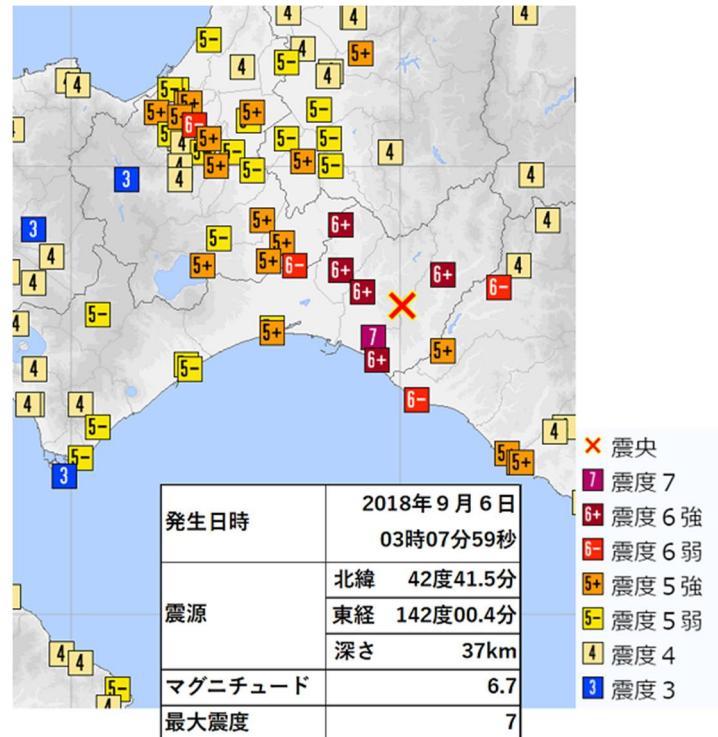


図-4 地震の概要と震度分布(出典先：気象庁)
図-4 地震の概要と震度分布(出典先：気象庁)
図-4 地震の概要と震度分布(出典先：気象庁)



写真-1 親杭パネル壁設置状況



写真-2 アンカーワーク削孔状況



写真-3 全景（左：施工前 右：施工後）



3.2. 熊本県球磨川流域での適用事例

2020年7月に九州地方を襲った令和2年7月豪雨では、熊本県を流れる球磨川流域において河川水位が上昇し、堤防の決壊や河川沿いの道路橋の流出、路肩の崩壊および擁壁倒壊（写真-4）などの被害をはじめ、公共土木施設やインフラに大きな被害が発生した。

この豪雨の発生前、熊本県は八代市および球磨村において国道219号の拡幅および嵩上げを目的とした道路改良事業を施工していた。この時の道路計画高は、川辺川ダムを「貯留型」として計算された高水位をもとに設計されており、国道の拡幅および嵩上げ工法は現場打ち横矢板壁工法が標準であったが、一部で親杭パネル壁工法が採用されていた。被災後、沿線の各種道路擁壁が修復不可能な状態まで被災したにもかかわらず、先行して施工された親杭パネル壁工法は基礎の洗掘（写真-5）は受けたものの、山留め壁体および道路に異常がなかったことから、以後、擁壁の復旧工法として採用された（写真-6）。

さらに、九州地方整備局八代復興事務所は、球磨川沿いの国道219号の球磨村神瀬地区および伊高瀬地区（写真-7）において、拡幅および嵩上げ事業の大部分を現場打ち横矢板壁工法によって発注していたが、工期短縮や現場作業の削減を図れる親杭パネル壁工法を施工者側から提案し、採用されることとなった。



写真-4 鋼管杭+鋼矢板擁壁の倒壊



写真-5 親杭パネル壁の基礎洗掘状況



写真-6 親杭パネル壁工法復旧状況



写真-7 親杭パネル壁工法復旧状況(伊高瀬地区)

4. おわりに

これらの事例から、親杭パネル壁工法は災害時の早期復旧に加えて、施工の合理化や耐久性の向上にも寄与することが確認された。特に、プレキャスト製品の活用による工期短縮、基礎掘削範囲の縮小による環境負荷の低減、アンカーと軽量盛土材との併用による高い適用性は、急峻地形や河川沿いなど厳しい現場条件において有効である。今後は、重要インフラの復旧・整備において本工法の活用が一層進むことで、地域の防災力強化と持続可能なインフラ整備の推進に貢献できるものと確信する。

インフラ整備に貢献する新しい地盤改良工法 HCM 工法 (Hybrid Control Mixing Method)

三信建設工業株式会社

島野 嵐^{*1}

株式会社エヌ、アイ、ティ

中西 康晴^{*2}

1. はじめに

深層混合処理工法であるスラリー攪拌工法は、道路、河川、港湾、空港、造成工事など、社会基盤の軟弱地盤対策として多くの施工実績を有する地盤改良工法である。しかしながら近年の厳しい社会情勢の中、工期短縮・工費削減といった建設市場のニーズが高まり、これに伴いスラリー攪拌工法は大口径化が進んでいる、その結果、軟弱地盤改良工法でありながらベースマシンも大型化が避けられない状況となっている。このような現状を鑑み、我々は、機械攪拌と高圧噴射の技術を融合させることで、小型なベースマシンで改良径 $\phi 2000\text{mm}$ を超える大口径かつ高速施工を可能にした複合噴射攪拌式深層混合処理工法「HCM 工法 Hybrid-Control-Mixing Method」を開発した。本稿では地中傾斜計を用いた変位計測結果および実大実験を行った改良体の出来形・改良地盤の品質確認について述べる。

2. 工法概要^{1) 2)}

本工法は、写真-1 に示す 25t クラスの小型地盤改良機を用い、セメントスラリーを高圧噴射できる特殊ノズルと攪拌翼を組み合わせた写真-2 で示す攪拌装置により、 $\phi 1,600\text{~}2,400\text{ mm}$ の大口径改良体を造成する深層混合処理工法である、表-1 に本工法の標準施工仕様を示す。

本工法は図-1 に示す 2 タイプ (M1、M2) の攪拌翼（上段 $\phi 1600\text{ mm}$ 、下段 $\phi 1200\text{ mm}$ ）を選択できる。M1 タイプは図-1(c) に示す 2 段の攪拌翼を有し、下段翼下部に位置した噴射ノズルから下段翼外周部に向けてセメントスラリーを噴射しさらに下段翼外周から上段翼外周部に向けてセメントスラリーを噴射する。M2 タイプは M1 タイプ同様、図-1(c) に示す 2 段の攪拌翼を有し、下段翼下部に位置した噴射ノズルから下段翼外周部に向けてセメントスラリーを噴射する。さらに下段翼外周から上段翼外周部に向けてセメントスラリーを噴射する。上段翼の外周部には外側にセメントスラリーを噴射できるノズルを備え、拡径噴射をすることで最大 $2,400\text{ mm}$ の大口径改良体の築造ができる。



写真-1 施工機全景



写真-2 攪拌装置

表-1 標準施工仕様

項目	適用範囲	
	M1	M2
改良径	$\phi 1600\text{ mm}$	$\phi 2200\text{~}2400\text{ mm}$
吐出量		320 L/分
貫入時間	1.0~1.5 分/m	1.5 分/m
引上時間	1.0 分/m	2.0~3.0 分/m
回転数		20~30 rpm
噴射圧力		30 MPa
土質 条件	標準	粘性土 : N 値 ≤ 2 砂質土 : N 値 ≤ 10
	上限	粘性土 : N 値 ≤ 8 砂質土 : N 値 ≤ 20 粘性土 : N 値 ≤ 5 砂質土 : N 値 ≤ 10

*1 Arashi Shimano

東京都台東区柳橋 2-19-6

・TEL 03-5825-3707 ・FAX 03-5825-3707

*2 Yasuharu Nakanishi

東京都渋谷区宇田川町 37-10

・TEL 03-3481-8986 ・FAX 03-3485-1245

また、本工法はセメントスラリーを高圧噴射することから、一般的な低圧噴射の単軸式のスラリー攪拌工法と比較し、攪拌時に土の細粒化や土の泥濁化などが促進され、盛上り土がスムーズに排出されやすいことから施工時の地盤変位などの周辺環境への影響が少ないという特徴がある。

$N=0$ のシルト層ならびに $N < 30$ の砂層を改良対象とした地盤での、地中・地表面変位の測定結果を図-2 に示す。地中変位は M1・M2 タイプとともに改良体の外周から 1.0 m 離れた位置で最大で +5.0 mm 以内に収まった。また、地表面高の変位についても、改良体の外周から 2.0 m 離れた位置で最大で +0.3 mm 程度 (M1 タイプ) であり、隆起・沈下はほとんどなく、低変位であることを確認した。

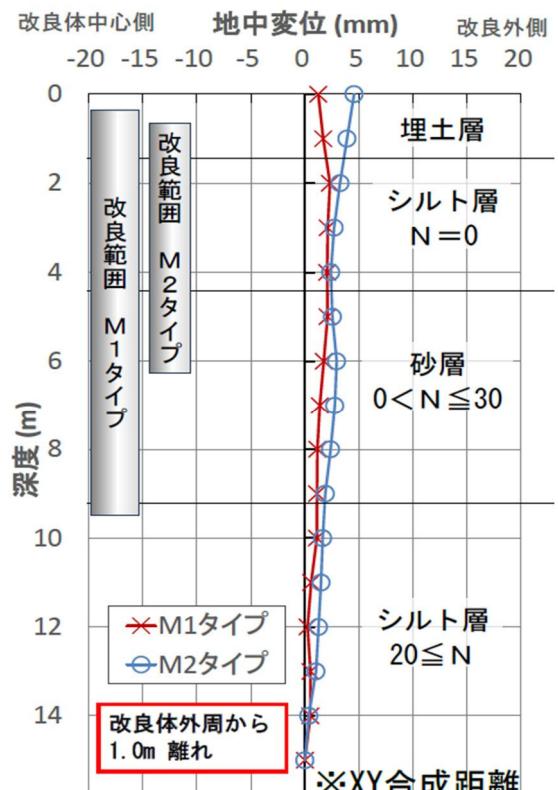
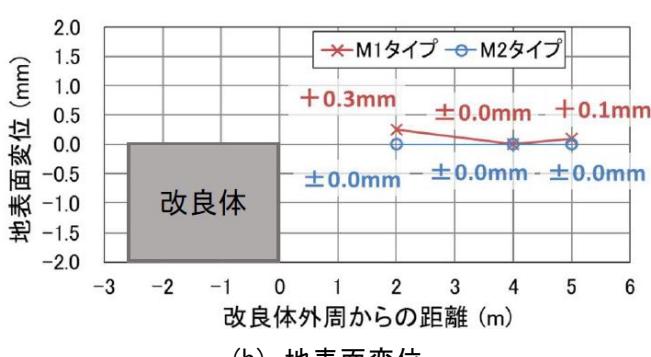
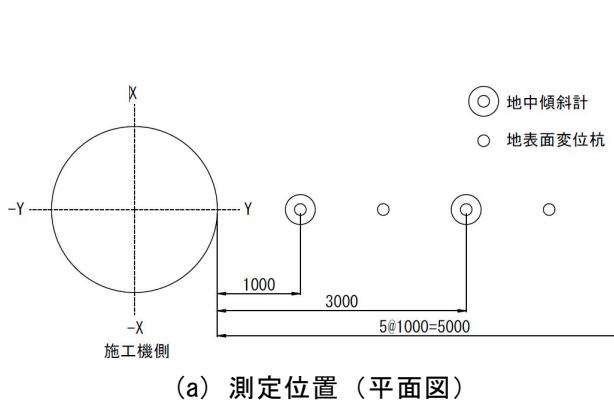
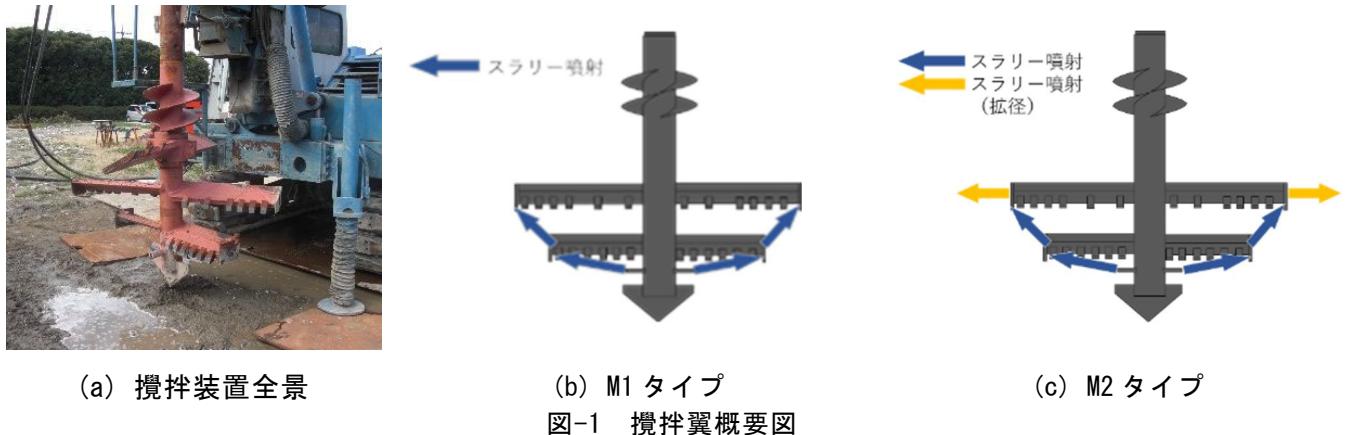


図-2 地中・地表面変位 測定結果

3. 実大実験による出来形確認³⁾

3.1 実大工事概要

実大実験では、実験土槽(平面 6 m × 8 m、深さ 4.5 m)内に人工的に作製した地盤にて、本工法にて改良体の造成を行い、養生後に改良体を掘り出し、改良体出来形・品質を確認した。出来形確認では、3D スキャナーを用いて改良体の点群データを取得し、改良径を計測した。品質確認では、改良体の断面に対して針貫入試験を実施し、換算一軸圧縮強さを計測した。作製した人工地盤は火山灰質粘性土であり湿潤密度 1.43 g/cm³、含水比 33 %、SWS 試験結果からの換算 N 値は $2 < N \leq 4$ とした。施工仕様は表-2 に示す通り本工法の標準仕様¹⁾と固化材添加量より、貫入時間を 1.7 分/m とし、引上時間は概ね上限値である 2.1 分/m と下限値の 3.0 分/m を採用し、上部 1 m と下部 1m で引上時間を変更する施工仕様とした。

3.2 出来形確認

改良体の出来形確認では、掘削により改良体を露出させ、3D スキャナーにより改良体をスキャンし、点群データを取得し計測した。掘削後の改良体を写真-3、改良体の点群データを図-3 に示す。取得データは点群処理ソフトを用い、深度方向に 10 cm 間隔の断面を作成した。各深度の改良径は、等角度で 8 分割した箇所で中心から外周までの距離を計測し、その最小値を半径とした。各深度の改良径の計測結果から描いた改良体概形を図-4 に示す。計測結果より、改良径は上部 1 m の区間で $\phi 2,412 \sim 2,616$ mm、下部 1 m の区間 : $\phi 2,408 \sim 2,588$ mm と、いずれも計画改良径 $\phi 2,400$ mm を上回り、設計径、+10%以内で制御することができた。

3.3 品質確認

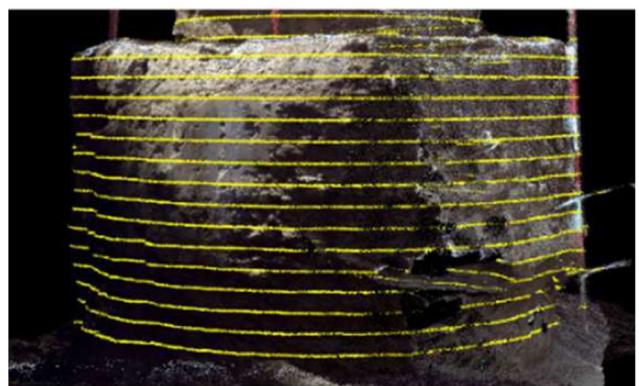
改良体の品質確認では、掘削した改良体をワイヤーソーを用いて、深度方向に垂直に切断し、改良体断面を露出させた。この断面において、引上げ時間を 3.0m/分で施工した上部 1 m 区間の改良上端から-200~-600 mm の深度にて、改良体断面を縦横 20 cm × 20 cm で 15 分割し、写真-5 に示すように軟岩ペネトロ計を用いて針貫入試験を実施し、換算一軸圧縮強さを測定した。

表-2 実大試験施工仕様

施工タイプ		M2 タイプ
改良径	外径(拡径)	φ2400 mm
	内径	φ1600 mm
攪拌翼径		φ1600 mm
改良長		2000 mm
改良材噴射圧力		35 MPa
改良材吐出量		320 L/分
改良材水固化材比		80 %
貫入時間		1.7 分/m(0.58 m/分)
引上 時間	上部	3.0 分/m(0.33 m/分)
	下部	2.1 分/m(0.47 m/分)
回転数 (貫入)		25 rpm
回転数 (引抜)	上部	35 rpm
	下部	25 rpm



写真-3 挖削した改良体



試験結果および換算一軸圧縮強さの変動係数を表-3に、換算一軸圧縮強さと改良体中心からの距離との関係を図-5に示す。換算一軸圧縮強さは1,500～3,500 kN/m²の範囲に分布しており、内径部と拡径部の平均値は同程度であった。また、換算一軸圧縮強さの変動係数は、全体で31.1%（内径部：33.2%、拡径部：27.8%）であり、一般的なスラリー攪拌工法の一軸圧縮強さの変動係数25～35%の範囲⁴⁾と同等の品質を有していることを確認した。

4. まとめ

複合噴射式大口径深層混合処理技術のHCM工法(Hybrid Control Mixing Method)は最大φ2,400mmの改良体を造成可能である。

実大実験による出来形確認では、造成した改良体は計画改良径φ2,400 mm以上であり、計画改良径に対して、+10%以内で制御できることを確認した。

品質確認では、換算一軸圧縮強さは1,500～3,500 kN/m²の範囲に分布し、内径部と拡径部の平均値は同程度であった。また、変動係数については一般的なスラリー攪拌工法と同等の品質を有していることを確認した。

参考文献

- 複合噴射攪拌協会:HCM工法技術・積算資料(第1版). 2024.
- 島野、藤田俊文:小型ベースマシンを用いた大口径スラリー攪拌工法, 第48回地盤工学研究発表会講演集, pp. 947-948, 2013.
- 熊田、山口、中西:複合噴射攪拌式深層混合処理工法の施工性、出来形および品質確認、第60回地盤工学研究発表会, p23-3-1-04, 2025.
- 地盤工学会:地盤改良効果の予測と実際, pp. 215-216, 2000.

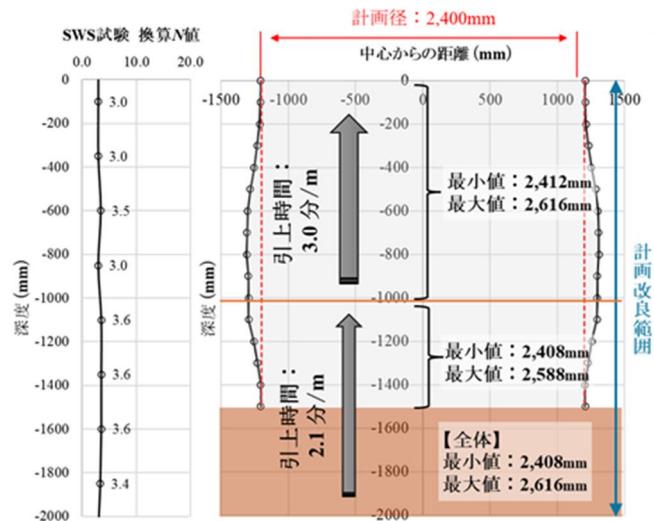


図-4 改良体概形図

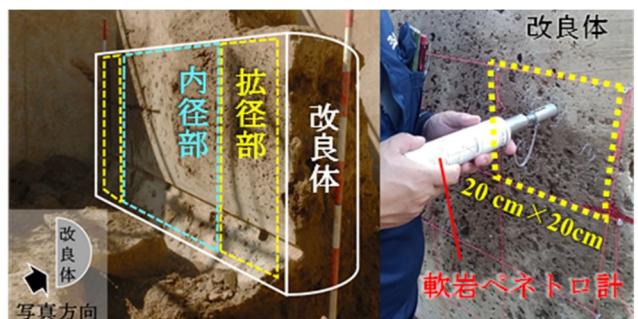


写真-5 改良体断面と針貫入試験状況

表-3 針貫入試験結果と変動係数

箇所	検体数 (個)	一軸圧縮強さ (kN/m ²)		変動 係数
		平均値	標準偏差	
全体	90	2,517	783	31.1%
内径部	54	2,501	830	33.2%
拡径部	36	2,542	706	27.8%

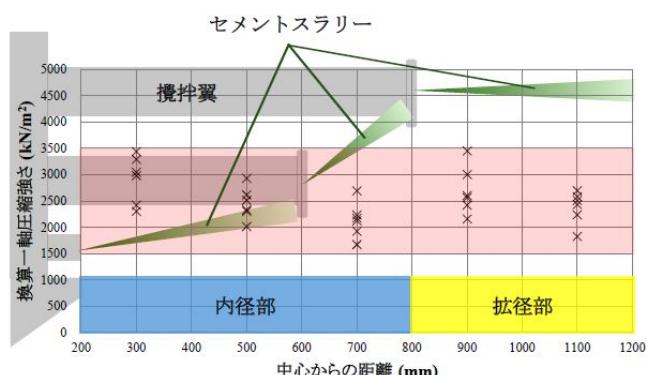


図-5 換算一軸圧縮強さと改良体中心からの距離の関係

インフラ構造物の軟弱地盤対策における固結工法

株式会社不動テトラ 高田 大輝^{*1}

菅 章悟^{*2}

杉本 知弘^{*3}

1. はじめに

近年、社会経済活動の維持・発展の基盤となる社会インフラの整備は、我が国における重要課題の一つである。特に、交通施設、海岸施設、港湾施設といったインフラの整備・強化は、地域の活性化や国土の強靭化に不可欠である。

我が国の国土に広く分布している沖積平野や海岸埋立地などにおける軟弱な粘性土や緩い砂質土が堆積する場所にインフラ構造物を建設する場合、構造物に甚大な影響が生じる。軟弱地盤によって生じる問題に対して、我が社では、地盤改良工事を行うことで、インフラ整備の貢献に取り組んでいる。

本稿では、軟弱地盤対策として代表的な地盤改良工法のうち、「固結工法」に分類されている深層混合処理工法について、我が社の最新の技術動向と北海道で実施された施工事例を紹介する。

2. 軟弱地盤問題

図-1に、インフラ構造物建設時における軟弱地盤の諸問題を示す。例えば道路盛土では、盛土時に原地盤のせん断抵抗を上回るせん断応力が生じるとすべり破壊が発生する。さらに、粘性土地盤であれば、荷重によって地盤中の間隙水が排水されて体積が減少し、圧密沈下も生じる。また、埋立地や在来地盤が緩い砂質土の場合、地震等で発生するせん断応力により間隙水圧が上昇し、有効応力を失うことで液状化が発生する。この現象により、液状化した地盤直上の構造物だけでなく、側方流動などの影響で周辺構造物などにも変状をきたす。他にもインフラ構造物を建設するに当たって開削工事を行う際に、底盤が軟弱であれば、ボイリングや盤膨れなどの問題も発生する。

このような軟弱地盤に対してインフラ構造物を構築する場合は、様々な問題が生じ、必要に応じて適切な対策を講じなければならない。

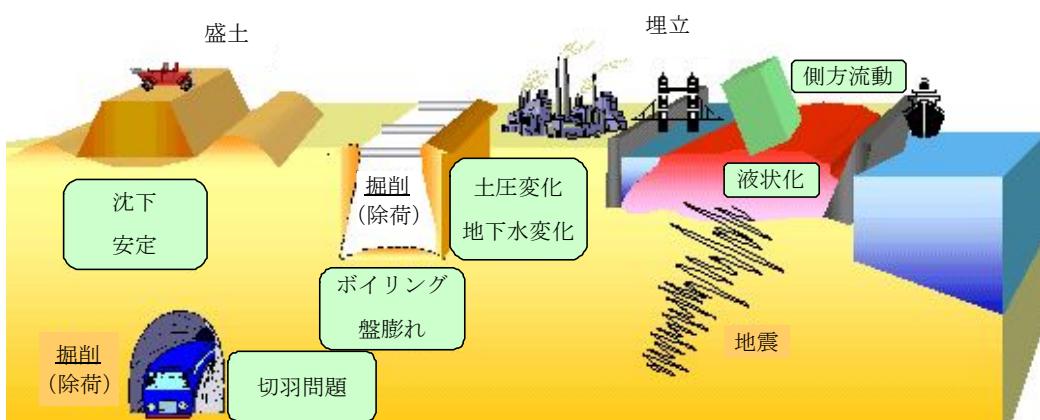


図-1 軟弱地盤による諸問題 ¹⁾に加筆

*1 Taiki TAKADA 北海道札幌市中央区北1条7丁目3番地, TEL: 011-233-1640, FAX: 011-233-1641

*2 Shogo SUGA 北海道札幌市中央区北1条7丁目3番地, TEL: 011-233-1640, FAX: 011-233-1641

*3 Tomohiro SUGIMOTO 宮城県仙台市青葉区国文町1-6-9, TEL: 022-262-3411, FAX: 022-262-3416

3. 地盤改良工

地盤改良工は、前章で述べた問題に対して、被害の防止・抑制を目的として実施されるものであり、改良目的や施工条件に適した工法の検討・選定をしなければならない。

地盤改良工の対策原理は、1) 置換、2) 圧密・排水、3) 締固め、4) 固結、5) 補強があり、本稿で紹介する深層混合処理工法の改良原理は「固結」である。

「固結」の改良原理は、軟弱土とセメントや石灰等を混合させて、化学的作用により、地盤自体を固めるものである。「沈下問題」や「安定問題」では、沈下量低減やせん断抵抗増加を期待でき、「液状化問題」では、格子状に改良体を配置することで、地震動によるせん断変形の抑制が期待できる。

4. 深層混合処理工法

深層混合処理工法は、主に2種類の工法に大別されており、機械攪拌式と高圧噴射攪拌式がある。機械攪拌式には、改良材をスラリー状にして施工する「スラリー系」と改良材をスラリー化せず粉体のまま空気輸送して施工する「粉体系」がある。一方、高圧噴射攪拌式は、高圧の空気、水およびグラウト材で改良範囲の原地盤を粉碎し、切削部分に改良材の充填あるいは改良材と切削土を攪拌混合して改良体を造成する工法となる。

本項では、様々なニーズに対応すべく開発された我が社の深層混合処理工法についての紹介を行う。

4. 1 機械攪拌式深層混合処理工法「CI-CMC工法、CI-CMC-HA工法、CI-CMC-HG工法」

CI-CMC工法（CI-CMC-HA工法、CI-CMC-HG工法）は、「スラリー系」の機械攪拌式深層混合処理工法であり、攪拌翼を用いてセメントスラリーと軟弱土を強制的に攪拌混合することで円柱状の改良体を造成する工法である。

4. 1. 1 CI-CMC工法

CI-CMC工法は、従来の深層混合処理工法で抱えていた課題である「コスト縮減」、「高品質化」、「硬質地盤への対応」、「近接施工への対応」を可能とした工法である。

本工法の特徴は、セメントスラリーの吐出方式に「エジェクター吐出」を採用していることである。「エジェクター吐出」とは、図-2に示すように、攪拌翼に内蔵している装置で、セメントスラリーと圧縮空気を同時に霧状で高速噴射させる画期的な吐出方式である。この特殊な吐出方式により、従来工法と比べて改良域全体に固化材を散布することができるため、大径であっても高い攪拌能力を発揮し、高品質でバラツキの少ない改良体を造成することが可能である。

さらに、噴射される霧状スラリーが土を破壊し、土粒子の流動性を高めることから、攪拌翼の貫入・攪拌の負荷が低減する。さらに、図-3に示すように、エアリフト効果で土が移動しやすくなり、投入したスラリー量に応じた量の排泥が攪拌域直上にスムーズに移動するため、従来工法や他の変位低減型工法に比べて

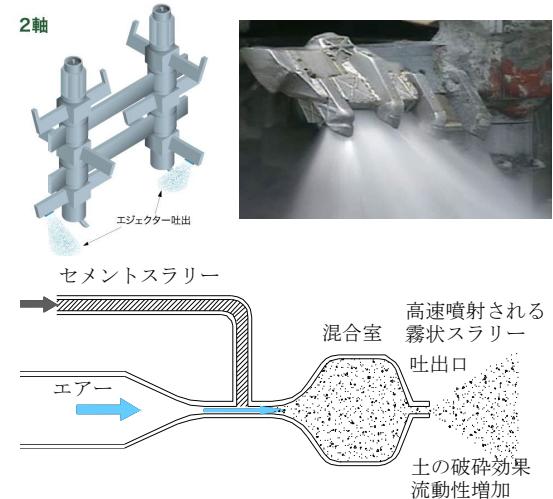


図-2 エジェクター吐出方式 概要図

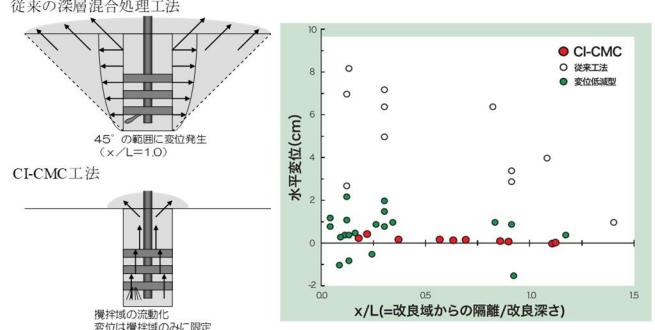


図-3 エジェクター吐出方式を採用した低変位施工

施工時における周辺地盤への変位影響を抑制できる。

4. 1. 2 CI-CMC-HA 工法

CI-CMC-HA 工法は、前述した CI-CMC 工法の特徴に加えて、硬質な地盤に対応するために、攪拌翼の形状を改善している。図-4 に示すように (1) 上端翼ビットの設置、(2) 攪拌翼の先端ヘッドの改善、(3) 掘削ビットの位置変更、(4) エジェクター吐出口位置の変更の 4 項目の改善を行った。

(1) 上端翼ビットは、引抜時の抵抗を軽減するため設置した。(2) 攪拌翼の先端ヘッドは、掘削した土を上下に移動させることを容易にするために、中心部が突出したスパイラル形状に改善した。(3) 掘削ビットは、左右の攪拌翼で全断面を均一に掘削できるように配置の変更を行った。(4) エジェクター吐出の位置は、攪拌翼部に配置変更した。これらの改善を行うことで、硬質地盤への対応が可能となり、砂質土では、N 値 50 度程、粘性土では、N 値 15 度までの適用拡大を実現した。

さらに、本工法では、オペレーターがこれまで手動で操作していたエジェクター吐出におけるエアコントロールを自動制御化することで、改良体のバラツキを抑制することができるとともに、オペレーターへの負担の低減を可能とした。

4. 1. 3 CI-CMC-HG 工法

東日本大震災以来、これまで強度が十分で地盤改良が不要となっていた超硬質地盤でも改良が不要となる場合や、構造物によつては、改良体を堅固な地盤へ確実に根入れするケースが増加している。

このようなニーズに対して、CI-CMC-HG 工法は、超硬質地盤に対応可能となった工法であり、図-5 に示すように、通常の CI-CMC 工法に使用されるオーガーの約 2 倍のトルクを有する「高トルクインバーターモーター」を採用した。超硬質オーガーを使用することで、N 値 50 を超える砂礫地盤や N 値 30 度の粘性土地盤への貫入を可能とした。

さらに、貫入補助として、攪拌翼の先端からエアーとセメントスラリーを噴射する先端吐出機構を併用することで、貫入抵抗を低減させることができる。

通常の CI-CMC 工法の場合は、超硬質地盤へ貫入する際に、混在している転石により施工性を低下させる懸念があったが、先端吐出機構を実装することで、施工性を落とさず超硬質地盤中の転石を動かしながらの施工が可能となる。

4. 2 高圧噴射攪拌工法 (FTJ 工法、FTJ-FAN 工法)

FTJ 工法および FTJ-FAN 工法は、「高圧噴射攪拌式」に分類されており、超高压のジェット噴流によって地盤を切削し、セメント系固化材を用いて攪拌混合することで改良体を造成する工法である。

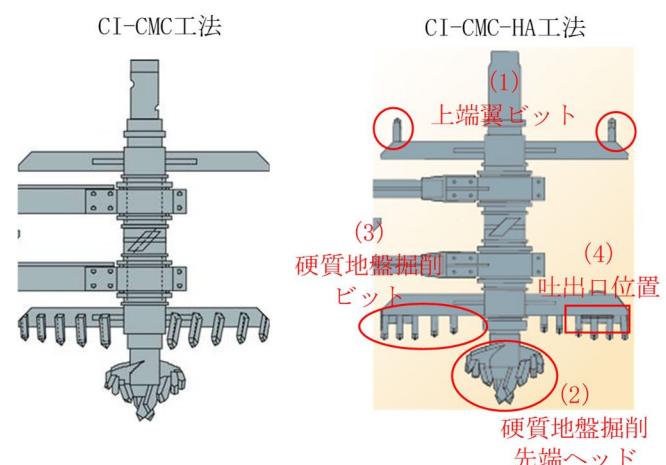


図-4 CI-CMC-HA 工法 攪拌翼の改善



図-5 超硬質オーガーと先端吐出機構

4. 2. 1 FTJ 工法

FTJ 工法は、図-6 に示すように、攪拌翼に設けた 2 箇所のノズルから高圧で大流量のセメントスラリーを噴射し、攪拌混合する。このように複流線のセメントスラリー噴射により、施工の高速化・大径の円形の改良体を造成することが可能な工法である。

本工法は、単管式（グラウト噴射）と二重管式（エア・グラウト噴射）を用途と目的に応じて使い分けることができ、エアーを使用しない単管式では、水中施工が可能である。例えば、岸壁前面矢板と地盤改良体間の間詰め改良を行うなど、水質汚濁を抑制しなければならない現場で、環境に配慮して施工を行うことができる。また、エアーを使用する二重管式では、地盤変位の抑制が可能であり、構造物が近接している現場において効果的である。

本工法は、施工条件に応じて施工機械を選定することが可能であり、図-7 に示すようにボーリングマシン機（FTJ-S 型）、自走式超小型機および小型機（FTJ-N 型）の選定が可能である。

4. 2. 2 FTJ-FAN 工法

近年、増加している既設構造物の耐震強化やリニューアル化の流れの中で、構造物直下を改良する市場ニーズも拡大している。FTJ-FAN 工法は、この市場ニーズに対応すべく、通常の FTJ 工法よりも噴射能力を向上させ、切削距離の増加と構造物直下を任意の角度の扇形あるいは矩形（長方形）などの必要範囲の効率的な改良を可能とした工法である。

本工法の特徴は、通常の FTJ 工法とは異なった攪拌翼を装備しており、図-8 のように、攪拌翼の正面に水平に取り付けた複数の噴射ノズルにより、高圧かつ大流量のセメントスラリーの揺動噴射ができるに加えて、揺動制御装置によって、噴射方向の制御が可能であり、任意の角度を有した改良体の造成を可能としたことである。図-9 に本工法の適用イメージを示す。従来の高压噴射攪拌工法であれば、既設構造物直下を改良する場合、既設構造物を削孔し改良する必要があったが、FTJ-FAN 工法では、切削距離が向上し、長距離の噴射が可能であるため、構造物を削孔することなく構造物直下の改良が可能である。また、扇形あるいは矩形の自由な形状で改良体を造成できるため、改良が必要な範囲に対して、効率的で無駄のない改良断面の配置ができる。



図-6 FTJ 工法 攪拌翼

(左図：一般軟弱地盤用、右図：硬質地盤用)



図-7 FTJ 工法 使用施工機械

(左図：FTJ-S 型、右図：FTJ-N 型)



図-8 FTJ-FAN 工法 攪拌翼

(左図：扇形改良用、右図：矩形改良用)

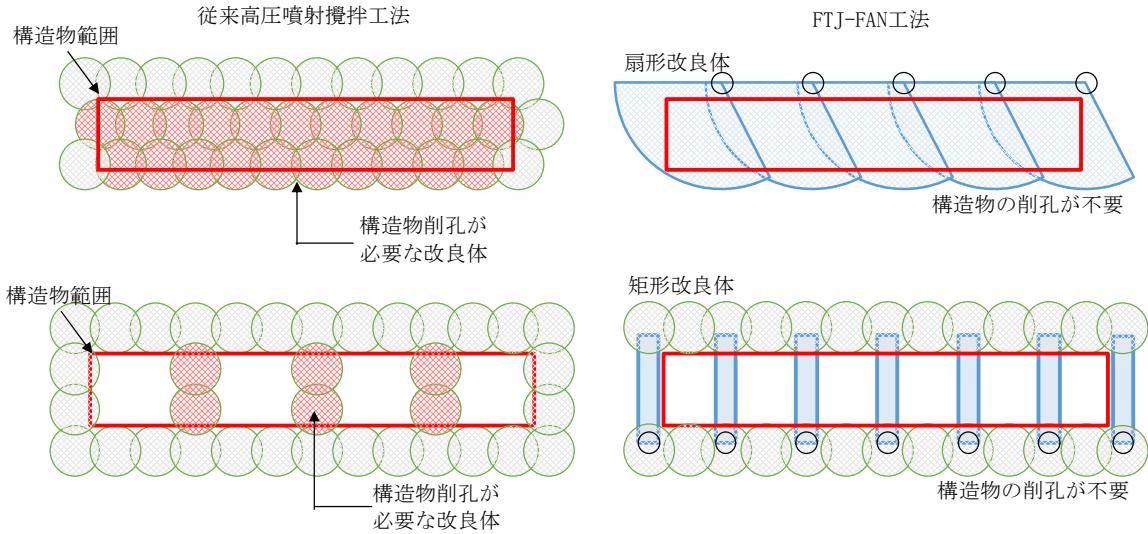


図-9 FTJ-FAN 工法 適用イメージ図

4. 3 Mole Eco Jet (モールエコジェット) 工法

近年の建設市場では、「都市再生」、「維持管理」、「老朽化対策」、「耐震化」などに着目した市場が増加している。これらの市場は、既設構造物への対応が多く、現行の小型施工機でも施工困難な狭隘地や空頭制限のある場所での対応が求められている。

Mole Eco Jet 工法は、新発想の回転機構を実装した高圧噴射攪拌工法であり、図-10 に示すような、同軸上にない噴射口（ノズル）から噴射したセメントスラリーの噴射反力により、先端部のみが自ら回転する機構を実装している。この機構により、施工機械の大幅な小型化を実現させ、図-11 のように、人が運搬できるサイズまで施工機械を小型軽量化したため、施工補助クレーンも不要となり、狭隘地や建屋内部、構造物地下といった厳しい施工条件においても地盤改良が可能となった。

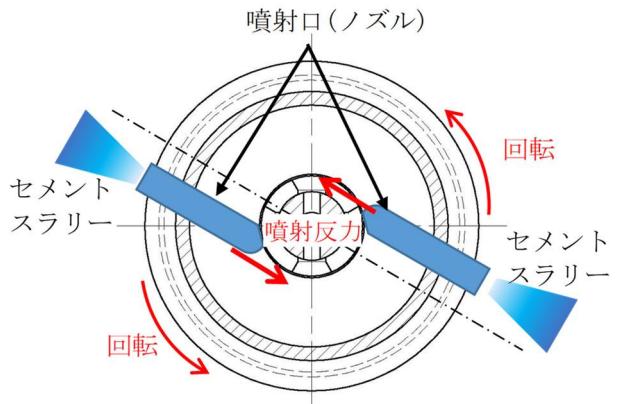


図-10 独自回転機構 概要図



図-11 Mole Eco Jet 工法（左図：施工機械、中図：運搬イメージ、右図：施工イメージ）

5. 軟弱地盤対策工事例「大津海岸高潮対策工事」

北海道中川郡豊頃町に位置する大津海岸では、海岸に沿う形で住宅等が立地しており、地震時の津波による被害を防止する目的で新設護岸の建設が進められている。R6 年度、R7 年度における大津海岸高潮対策工事（以下、本工事とする）では、新設護岸の沈下、支持力および液状化対策の地盤改良工事として、図-13 に示すように CI-CMC 工法で施工を行った。

図-14 に施工断面例を示す。本工事は、粘性土や砂質土を対象として、地盤改良工事を行うものであった。改良長は施工位置に応じて 3.3m～7.3m であり、設計基準強度 $q_{ck} = 1,100 \text{ kN/m}^2$ であった。図-15 に平面配置図を示す。標準配置は $\phi 1,600 \text{ mm} \times 2$ 軸ラップ形式の改良率 $ap = 88.2\%$ である。平面配置はこれを満足するように配置されており、本工事において、600set 程度施工した。

本工事の特徴は、前述のように複数の軟弱土層が堆積する地盤において、土層ごとにセメント添加量を設定して施工を行ったことである。さらに、CI-CMC 施工時に発生する盛上り土は自硬性を有するため、その特性を活かし護岸背面の埋戻し材として転用が計画されている。



図-13 CI-CMC 工法 施工状況

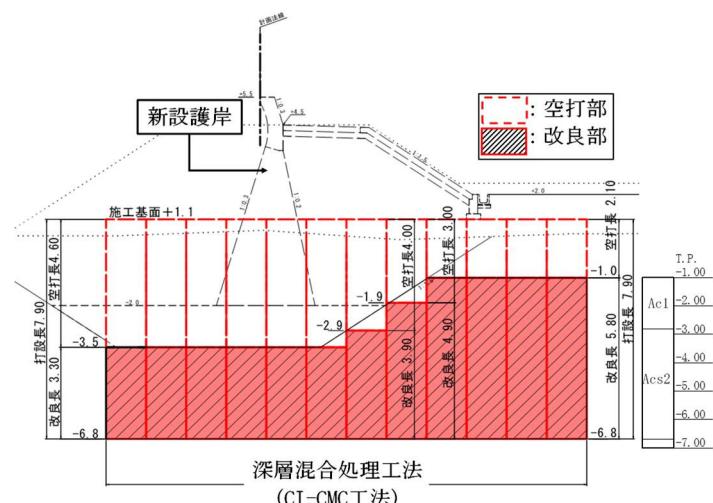


図-14 CI-CMC 工法 施工断面例

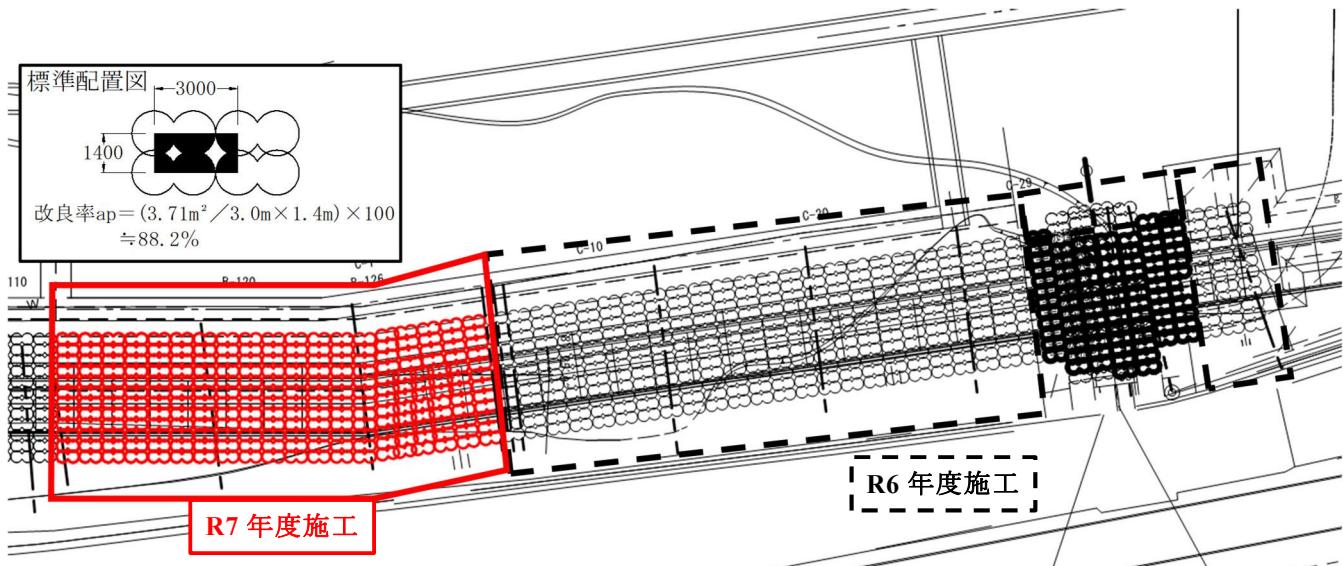


図-15 CI-CMC 工法 平面図

図-16は、施工後の品質確認として事後調査ボーリングを実施し、改良体の深度ごとに一軸圧縮強度試験を行った結果である。試験結果は、全てにおいて、設計強度を満足しており、高品質の改良体を造成されていることが確認されている。

6. おわりに

本稿では、我が社の最新の技術動向として固結工法である「CI-CMC工法」、「FTJ工法」、「Mole Eco Jet工法」の概要と北海道で実施された施工事例を紹介した。

固結工法は、軟弱地盤対策として多くの実績を有しており、インフラ構造物を建設するうえで重要な役割を担っている。軟弱地盤により発生する被害を未然に防止するために、今後も様々なニーズに対応した工法の開発・実用化を目指していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人地盤工学会：入門シリーズ27 土の活用法入門, 2003

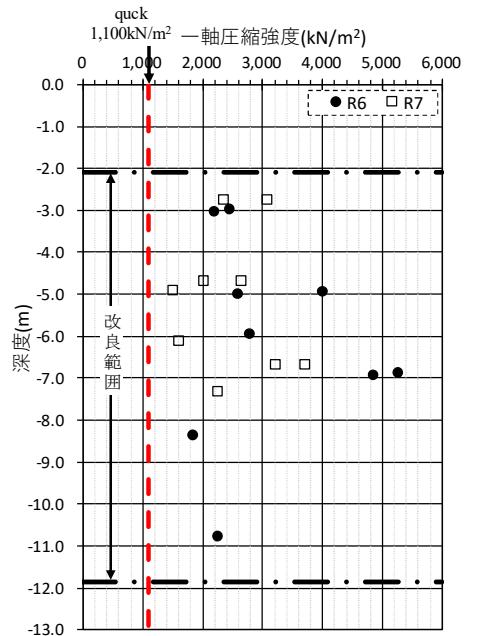


図-16 一軸圧縮強度試験結果